

Спонтанная эмиссионная активность литосферы и сейсмоэлектромагнитные явления

© В. Н. Шуман, 2016

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина
Поступила 19 января 2016 г.

Представлено членом редколлегии В. И. Старостенко

Обговорено нові ідеї та підходи до опису спонтанних емісій літосфери (сейсмічної, сейсмоакустичної і електромагнітної), що спираються на аналіз нестационарних процесів і метастабільних станів в активному геосередовищі. Підкреслено, що емісії являють собою не лише динамічний, а й просторово-часовий хаос в енергонасичених геосистемах. Увагу сконцентровано на дифузійно-релаксаційній компоненті літосферного шуму, який можна тлумачити як відображення нелінійної динаміки нерівноважного геосередовища, підсумку взаємодії між механізмами його самоорганізації, які визначають тенденції розвитку еволюційних процесів, та ефектами динамічної релаксації, які відображують роль флуктаційно-дисипативних факторів. Указано на визначальну роль під час генерації цих процесів фронтів критичності, зокрема перколяційно-дифузійних, і пов'язаних з ними перехідних процесів у нестационарному геосередовищі, що називають перехідним розсіюванням. Суттєво, що спонтанні емісії як упорядковані просторово-часові структури, які визначаються властивостями геосистем, можуть бути інтерпретовані в термінах автохвильових коливань релаксаційного типу, наприклад, автоструктур.

Ключові слова: сейсмічна і електромагнітна емісія, моделі генерації, еволюція геосистем, перехідна активність, дисипативні структури, метастабільні стани, перехідне розсіювання, автоструктури.

Введение. Как известно, литосфера — уникальная естественная лаборатория, в которой самой природой реализован эксперимент по генерации и самоорганизации весьма разнообразных сейсмических, сейсмоакустических и электромагнитных процессов и явлений, зарегистрированных на земной поверхности. В частности, литосфера генерирует сейсмические колебания в весьма широком диапазоне частот — от сотен герц до 10^{-4} Гц. Наблюдается большое разнообразие электромагнитных возмущений литосферного происхождения, на которые накладываются поля внеземных источников также в исключительно широком диапазоне частот — от 10^{-4} до 10^6 Гц и выше. Обзор весьма обширных теоретических и экспериментальных исследований по данной проблематике можно найти в известных монографиях и статьях [Сурков, 2000; Гульельми, 2007; Хаякава, Коровкин, 2011; Surkov, Hayakawa, 2014 и др.].

Стало очевидным, что в широком смысле вопрос о природе сейсмоэлектромагнитных эмиссий литосферного происхождения является фундаментальным и не существует уни-

версальной модели, пригодной для описания всех типов эмиссий, генерируемых геосредой. Безосновательно также противопоставляют или разграничивают сейсмические, сейсмоакустические и электромагнитные эмиссии литосферы. Их следует рассматривать в качестве единого комплекса возмущений, генерируемых геосистемой [Шуман, 2015а,б]. Существенно, что данное эмиссионное излучение является отражением собственной эволюции геосреды, а его спектр отражает стадию этой эволюции и характеризует меру энергонасыщенности системы. Однако с учетом чрезвычайной общности темы обычно концентрируют внимание на более узком, утилитарном понимании сейсмоэлектромагнетизма — исследовании электромагнитных явлений, связанных с сейсмической активностью, в частности преобразования энергии движений горных пород в энергию электромагнитных возмущений [Гульельми, 2007]. При этом эмиссия может быть вызванной или спонтанной. Вызванная электромагнитная эмиссия — отклик литосферы на сейсмические возмущения в непосредственной окрестности пункта на-

блюдений. Спонтанная — вне прямой видимой связи с проявлением сейсмической активности [Левшенко, 1995]. И если пути и методы изучения вынужденных сигналов литосферного происхождения в целом достаточно ясны и разработаны [Гульельми, 2007], механизмы генерации спонтанных весьма схематичны и исследовались, в основном, на качественном уровне [Левшенко, 1995; Шуман, 2012; 2015а,б]. Наиболее интересным и надежным для наблюдений сейсмoeлектромагнитных сигналов считались ультранизкочастотный (УНЧ) (до 3 Гц) и крайне низкочастотный (КНЧ) (3—30 Гц) диапазоны электромагнитных возмущений, хотя электромагнитные сигналы этого диапазона весьма активно генерируются также и в атмосфере, ионосфере, магнитосфере и космическом пространстве. Весьма полный обзор современных исследований по проблемам УНЧ- и КНЧ-возмущений содержится в монографии [Surkov, Hayakawa, 2014].

Теоретические исследования различных электромагнитных эффектов, возникающих при разрушении и деформации твердых тел в естественных и лабораторных условиях, обобщены в монографии [Сурков, 2000]. В частности, развиты теоретические представления, объясняющие появление электромагнитного шума данного диапазона при разрушении проводящего вещества, находящегося во внешнем магнитном поле. Развита теория электрокинетического эффекта в пористых водонасыщенных породах с фрактальной структурой порового пространства за порогом перколяции.

Новый аспект рассматриваемой проблемы — изучение сейсмoeлектромагнитных явлений в связи с попытками развития методов краткосрочного прогноза сейсмических событий. Наряду с исследованием электромагнитной эмиссии литосферы они включают также изучение атмосферных возмущений сейсмического происхождения, ионосферных возмущений, связанных с субионосферным распространением УНЧ-волн [Хаякава, Коровкин, 2012]. На передний план исследований здесь выдвигаются механизмы связки литосфера—атмосфера—ионосфера, причем подчеркивается, что эти сейсмoeлектромагнитные явления, вообще говоря, имеют несейсмическую природу и поэтому не имеют ничего общего с сейсмологией. И хотя появление сейсмoeлектромагнитных явлений, вообще говоря, связано с механическими процессами в литосфере, акценты смещаются в сторону изучения атмосферного электричества, физики и химии

атмосферы, физики плазмы и верхних слоев атмосферы, процессов в ионосфере, а сейсмология остается лишь основным поставщиком информации о литосфере. Иначе говоря, в качестве основной цели исследований сейсмoeлектромагнитных явлений эти авторы видят изучение механизма литосферно-атмосферно-ионосферных связей, что, несомненно, сужает сферу их применения и понимания.

Заметим в этой связи, что помимо появления новой экспериментальной техники и полученных на ее основе обширных данных полевых наблюдений, существенно менялась и сама нелинейная динамика, фокус интересов которой в значительной степени сосредоточился на исследовании сложных систем. В частности, к их описанию в последнее время оказались вовлеченными ее методы описания процессов в сильнонеоднородных и неравновесных скрытых системах, пронизываемых потоками энергии и вещества. Получили развитие исследования динамики нелинейных энергонасыщенных геосистем и распределенных сред, структурообразование в которых демонстрирует в широком диапазоне параметров и масштабов пространственно-временной скейлинг, характеризующийся сильными степенными корреляциями, типичными для критических явлений. Традиционно большую роль в таком описании играет геометрическое представление эволюции исследуемых систем в малоразмерных проекциях их фазового пространства. В этом случае поведение системы описывается в терминах аттракторов, переходных состояний, устойчивости, бифуркаций, динамического хаоса и др. Однако описание поведения диссипативных открытых систем в фазовом пространстве модели оказывается эффективным, когда плотности всех потоков, пронизывающих эти системы, сбалансированы и близки к стационарным, а связи между их подсистемами симметричны [Рабинович, Мюезинолу, 2010]. Именно в этом случае фазовое пространство систем разбивается на области (бассейны) притяжения разных аттракторов. Но эти предположения применительно к реальным геосистемам часто оказываются не реалистичными, что, разумеется, существенно ограничивает возможности моделирования переходных процессов и состояний.

В центре интересов нелинейной динамики оказывались исследования по синтезу фрактальности и топологии в описании динамики перколирующих систем, описание которых не укладывается в рамки традиционных под-

ходов [Зеленый, Милованов, 2004; Иудин, 2005; Рабинович, Мюезинолу, 2010]. Очевидно, при описании таких систем также необходимы новые подходы и идеи. Некоторым аспектам приложения идей нелинейной динамики неравновесных (активных) сред к описанию генерации и распространения спонтанных эмиссий литосферы автор и посвятил дальнейшее изложение, продолжая таким образом начатые ранее исследования [Шуман, 2015а,б].

Геосистемы, спонтанные шумы и флуктуации. Существует тенденция рассматривать вариации геофизических полей как проявление режима детерминированного хаоса во фрактальной геосреде [Лукк и др., 1996], который является индикатором ее динамического состояния. Установлено, что хаос в геосистемах может порождаться различными, возможно универсальными путями, независимо от природы геосистем [Лоскутов, 2010]. В частности, найдено, что случайность в рассматриваемом случае может быть обусловлена как внутренними свойствами геосистем, так и внешними факторами. Разработаны методы анализа временных рядов наблюдений, которые позволяют отличить стохастическое поведение системы от детерминированного хаоса. При этом основной критерий отличия между регулярной, но сложной динамикой и хаосом — это устойчивость системы к малым возмущениям [Лоскутов, 2010]. Ясно также, что наличие лишь временного ряда (вместо полного решения) сильно ограничивает наши возможности анализа систем. Кроме того, хаос в динамической системе должен оставаться слабым. Слабость хаоса — ключевое условие существования литосферы. Очевидно, при этом одним из самых сложных вопросов остается вопрос о природе хаотичности в геосистемах и ее следствиях, причем стохастичность часто понимается в качестве синонима термина случайность. Но стохастическими величинами являются только те из них, для которых определена вероятность. На практике при обработке экспериментальных данных обычно рассматриваются и определяются вероятностные характеристики как стационарное распределение вероятности по аттрактору, корреляционные функции, спектры мощности и др.

Как известно, шум (стохастический процесс) обычно классифицируют по следующим категориям:

по типу независимой переменной; это либо пространственный шум, представляемый функцией векторного аргумента, либо времен-

ной в виде функции скалярной переменной; по виду спектральной плотности мощности; по виду корреляционной функции распределения (белый, фликкер-шум, гауссовый шум, экспоненциальный и др.); по степени изменчивости его ведущих характеристик (стационарный, нестационарный, эргодический процесс);

по типу математической модели шума.

Разумеется, шум в реальной геосистеме, вообще говоря, не является белым, его статистика в большинстве случаев неизвестна.

Можно предположить, что спонтанный (релаксационно-диссипативный) шум литосферы может быть истолкован в качестве реализации некоторого нелинейного автоволнового процесса, развивающегося во времени и пространстве, причем структура его спектра определяется масштабами, ограничивающими диапазон проявления фрактальных свойств, и значением спектральной размерности геосреды [Кадоццев, 1994], которой, как известно, присущи различные фрактальные структуры. В частности, флуктуационно-диссипативная теорема связывает, как уже упоминалось, флуктуации в системах (их спектральную плотность) с ее диссипативными свойствами.

На практике обычно рассматривают быстрые флуктуации (белый шум) и низкочастотные, ассоциируемые с «цветными» шумами, чьи спектры мощности $P(f)$ соответствуют степенной функции. Различают обычно розовый или фликкер-шум ($P(f) \sim f^{-1}$), коричневый ($P(f) \sim f^{-2}$) и черный шум ($P(f) \sim f^{-3}$). Полагают, что цвет шума на низких частотах может рассматриваться в качестве индикатора близости системы к состоянию самоорганизованной критичности (СОК) или степени ее близости к «предельности»: преобладание розовых оттенков указывает на стабилизацию системы в предельном неравновесном стационарном состоянии (НСС), соответствующим СОК [Зеленый, Милованов, 2004]. Иначе говоря, чем ближе система к НСС, тем светлее шум на низких частотах. С ростом частоты шумы в системах обычно темнеют, что обычно связывают с влиянием их структурных свойств на распределение энергии по частоте. В частности, дальнедействующие корреляционные эффекты вносят, по терминологии [Зеленый, Милованов, 2004], дополнительные «мрачноватые» оттенки в коричневый шум.

Подобно темно-коричневому черный шум также является структурным. Можно говорить, что розовый шум на низких частотах

связан со стремлением динамических возбуждений системы к СОК, в то время как темно-коричневый в области промежуточных частот обусловлен фрактальными возбуждениями или флуктуациями. В этом контексте розовый шум может навязываться динамическим, в то время как темно-коричневый — структурным [Зеленый, Милованов, 2004].

Таким образом, можно сделать вывод, что детальное изучение цветности шумов в геосистемах может значительно расширить представления о динамических процессах, протекающих в них. В итоге одна из актуальных задач — исследование критических аттракторов, типичных для систем, параметры которых близки к критическим, т. е. к точке бифуркации стационарного режима их функционирования. Заметим, однако, что на практике обычно имеют дело с мультифрактальными процессами генерации шумов, допускающими разложение на интервалы с различными значениями скейлинга (параметра β в степенном спектре мощности $P(f) \sim f^{-\beta}$), являющимся достаточно общим явлением. Дополнительные трудности связаны с тем, что мы имеем дело не только с временным, но и пространственным хаосом и, соответственно, в отличие от странно-аттракторной теории, в принципе, необходим учет воздействия шумов на крупномасштабную динамику системы.

В заключение раздела обратим внимание на важную особенность функционирования активной системы в условиях стационарного режима и в условиях близости ее параметров к точке бифуркации. В этом случае, как известно, при приближении функционирования системы к этой точке отмечается быстрый рост восприимчивости, в основном, за счет вклада низкочастотных (мягких) мод [Руманов, 2013], причем нарастание мягких мод около бифуркации стационарного режима является универсальным явлением. В спектре пульсаций формируется низкочастотный пик, однако, в отличие от фликкер-шума, этот пик исчезает при удалении параметров системы от критических явлений. Примечательно, что вдали от точки бифуркации наблюдается, в основном, белый шум, а вблизи формируется максимум (резонанс на нулевой частоте). Слабый шум, присущий всякой реальной системе, усиливается. Появляются дополнительные возможности диагностики момента приближения бифуркаций стационарного режима функционирования сейсмогенерирующей системы по нарастанию низкочастотных (мягких) мод в

спектре ее шумов [Руманов, 2013]. Очевидно, в итоге мы оказываемся с гораздо более широкими возможностями диагностики и прогноза функционирования геосистем даже в случае выполнения локальных измерений.

О диффузионно-релаксационной компоненте литосферного шума. Очевидно, не существует единой модели генерации спонтанной сейсмoeлектромагнитной эмиссии литосферы. Трудности ее истолкования связаны с тем обстоятельством, что спонтанной эмиссии соответствует и геосреда, и переходные динамические процессы в ней.

В частности, рассматривая геосреду как нелинейную диссипативную динамическую систему, обладающую свойством СОК, сейсмoeлектромагнитная эмиссия может интерпретироваться как фундаментальное следствие эволюции геосистемы к состоянию СОК и как динамический отклик таких систем на пронизывающие их потоки энергии и вещества из низов литосферы. Но в соответствии с флуктуационно-диссипативной теоремой физики механизм любой диссипации является одновременно и механизмом рождения флуктуаций [Кадоццев, 1994]. При этом флуктуации никогда не исчезают, а поддерживаются на уровне, который диктуется дискретностью геосистем.

Однако, как известно, самоорганизация не является универсальным свойством геосистем. В то же время наличие пространственно-временной структуры является их всеобщим и фундаментальным свойством, и, соответственно, при описании механизмов генерации спонтанных эмиссий геосреды в ряде случаев можно попытаться уклониться от фундаментальных и дискуссионных вопросов СОК: это СОК-теория или СОК-модель? В более расширенной трактовке спонтанная эмиссия (сейсмoeлектромагнитный шум литосферы естественного происхождения) — это продукт устойчивой переходной активности геосреды как открытой неравновесной диссипативной системы с конечной во времени плотностью энергетических ресурсов и энергомассопотоков, пронизывающих систему.

Очевидно, что это универсальный эффект, не требующий специфических условий для своего образования: достаточно располагать источником энергии, чтобы самовозбуждение колебаний в соответствии с флуктуационно-диссипативной теоремой стало возможным. Эти энергопотоки, в частности, и просачивание флюидов из низов литосферы имеют диф-

фузионную природу и поэтому реализуются условия для возникновения спонтанного шума. Разумеется, существуют и возмущения, генерируемые внешним окружением. В результате оказывается возможным и реализуемым весьма широкий перечень физических механизмов и физического содержания процессов их генерации самоподобной структурой геосреды, определяемых уровнем и скоростью энергопереноса из низов литосферы на соответствующих пространственно-временных масштабах. При этом и сейсмоакустическая, и электромагнитная эмиссии обладают ярко выраженными свойствами нелинейных процессов, способностью к периодической самоорганизации и хаотизации. Примечательно, что аккумуляция и передача больших объемов энергии вещества через литосферу сопровождаются генерацией взаимодействующих сейсмических, сейсмоакустических, гидродинамических, электромагнитных и других типов возмущений и волн, распространяющихся как в литосфере, так и в атмосфере вплоть до ионосферы.

Заметим, что спонтанные эмиссии как упорядоченные пространственно-временные структуры, определяемые свойствами самой геосистемы, могут быть истолкованы в терминах автоколебаний, в большинстве случаев релаксационного типа. С этой точки зрения исследования высокоорганизованных пространственных (диссипативных) структур геосреды, в частности автоструктур, выходят на передний план современной геодинамики.

Напомним, что диссипативные структуры — это упорядоченные самоорганизующиеся образования в системах, далеких от термодинамического равновесия, обладающие определенной формой и характерными пространственно-временными размерами, устойчивые относительно малых возмущений. Их важнейшие характеристики — область локализации, время жизни и фрактальная размерность. Для своего существования диссипативные структуры требуют постоянного притока энергии извне, так как их самоорганизация, по определению, связана непосредственно с обменом энергией и веществом с окружающей средой. Однако, кроме автоколебательных, для сред рассматриваемого типа характерны также интерференционные, триггерные, резонансные явления. По этой причине, в виду сложности проблемы, отнюдь не случайно, что на данном этапе исследований не удастся отразить имеющуюся весьма обширную эмпирику

на одинаково разделяемой всеми аксиоматике. Однако ключ к пониманию сути явлений процессов генерации спонтанных эмиссий — активная роль геосреды и особых ее динамических состояний, порождаемых кооперативным поведением ее подсистем, ее диссипативность и нелинейность.

Как известно, существует несколько подходов к описанию спонтанных эмиссий, среди которых отметим перколяционный, динамический и релаксационный механизмы. Первый из упомянутых связан с перколяционной моделью диффузионного фронта: просачивание флюидов, очевидно, имеет диффузионную природу, и поэтому реализуются условия для возникновения фрактального геометрического шума. Заметим, что проявление свойств перколяционного типа весьма вероятно для сред с низкой проницаемостью и в трещиноватых породах [Гийон и др., 1991]. Достаточно лишь располагать источником энергии, чтобы самовозбуждение колебаний стало возможным. Другой, динамический, акцентирует внимание в процессах генерации эмиссий на активной роли самой геосреды и особых ее динамических состояний, порождаемых кооперативным поведением ее элементов и подсистем. В этом случае спонтанный шум рассматривается как динамический отклик геосреды (активной системы с диффузией) на внешние или внутренние энергетические воздействия, как результат спонтанного образования автоструктур и реализации их мягкого или жесткого режима возбуждения и последующей эволюции с частичным сбросом энергии в виде сейсмоакустической или электромагнитной эмиссии. Релаксационный подход ассоциируется с формированием неоднородных ансамблей автоструктур, возникающих в диссипативной геосреде при достаточно большой степени ее неравновесности. Становится возможным формирование различных, в том числе и хаотических, пространственно-временных структур активности, представляющие собой импульсы и фронты возбуждений, неустойчивость которых ведет к установлению в геосистеме самоподдерживающихся колебаний с определенной пространственной конфигурацией. При этом каждый элемент геосреды генерирует последовательность импульсов возбуждений с различным интервалом следования и характерным распределением энергии по частоте, а колебательная неустойчивость в неоднородной геосреде ведет к образованию стоячих волн, отражающих наиболее устойчивую и геометрически простую конфигура-

цию. При этом формируется пространственно-временная структура спонтанных эмиссий, которая является отображением вещественно-энергетической структуры элементов и объектов геосреды на земной поверхности, в определенном смысле «изоморфная» их структуре и динамике.

Весьма вероятно, что в основу рассматриваемой парадигмы процессов генерации спонтанных эмиссий литосферы может быть положена метастабильность и принципы динамики, в частности метастабильные состояния и переходные динамические процессы, связанные с взаимодействием различных элементов и подсистем геосреды как динамической системы с учетом ее строения, иерархически разломно-блоковой структуры, напряженно-деформированного состояния и процессов разрушения на разных масштабных уровнях — от локальных очагов до региональных и глобальных сейсмoeлектромагнитогенерирующих структур, их синхронизацией (координацией) и энергообменом. Следует предусмотреть также возможность различного физического содержания процессов генерации на разных уровнях геометрически самоподобной блоковой системы геосреды, в частности генерации связанных акустоэлектромагнитных возбуждений. При этом один из возможных механизмов сейсмической активности может быть ассоциирован с перколяционной неустойчивостью дегазирующего субстрата литосферы [Иудин, 2005], а в качестве базового механизма процессов трансформации механической энергии в энергию электромагнитную может быть принято, во-первых, переходное фрактальное рассеивание волны проницаемости, связанной с фронтами неустойчивости, на зарядах, сгустках зарядов или диполей, содержащихся в геосреде, или, во-вторых, изменения во времени параметров такой системы. Существенно, что образование фрактальных агрегатов в таких системах резко увеличивает мощность создаваемого излучения.

Таким образом, теория протекания и фрактальные методы дают конструктивную основу для анализа важнейших аспектов динамики геосистем и новые возможности трактовки сейсмoeлектромагнитных явлений. Важно то, что здесь мы имеем дело с новым классом процессов и явлений, которые сегодня востребованы и используются для создания новых технологий и методов зондирующих и мониторинговых систем [Чеботарева, 2011; Шуман и др., 2012; Шуман, 2014а,б, 2015а,б].

Но почему спонтанную эмиссию (спонтанный шум) литосферы иногда называют «геометрической»? Где здесь геометрия и не является ли он «шумом без геометрии»? Можно думать, что нет. Ранее уже отмечалась важная роль в процессах генерации спонтанных эмиссий фронтов критичности, в частности перколяционно-диффузионного фронта и связанных с ним переходных процессов в неоднородной нестационарной геосреде, называемых переходным рассеиванием [Гинзбург, Цытович, 1984]. Очевидно, геометрия здесь состоит в присоединении к фронту и отсоединении от него целых кластеров (связанных объемов, занятых диффузирующим агентом) с широким диапазоном размеров в той части фронта, где концентрация этого агента равна поровой концентрации протекания. И этот эффект является универсальным [Зосимов, Лямшев, 1995, с. 391].

Заключение. До настоящего времени остается весьма противоречивой проблема генерации и распределения спонтанных эмиссий и сейсмической, и сейсмоакустической, и электромагнитной. К их описанию в настоящее время оказываются вовлеченными методы нелинейной динамики, в частности процессы в сильнонеравновесных открытых системах, пронизываемые потоками энергии и вещества. Активно исследуются нелинейные энергонасыщенные распределенные среды, структурообразование в которых демонстрирует в широком диапазоне параметров и масштабов пространственно-временной скейлинг, характеризующийся сильными степенными корреляциями, типичными для критических явлений. Большую роль в таком описании традиционно играет геометрическое представление эволюции исследуемых геосистем в малоразмерных проекциях фазового пространства. В этом случае поведение системы описывается в терминах аттракторов, переходных состояний, устойчивости, бифуркаций, динамического хаоса и др. При этом существенно изменялась и сама нелинейная динамика. В центре ее интересов оказались исследования сложных систем, вопросы синтеза фрактальности и топологии в описании динамики перколирующих систем, описание которых не укладывается в рамки традиционных подходов [Зеленый, Милованов, 2004; Иудин, 2005; Рабинович, Мюезинолу, 2010].

Как известно [Рабинович, Мюезинолу, 2010], описание поведения диссипативных открытых систем в фазовом пространстве модели оказывается эффективным, когда плотности

всех потоков, пронизывающих эти системы, сбалансированы и стационарны, а связи между их подсистемами близки к асимметричным. Именно в этом случае фазовое пространство системы разбивается на области притяжения разных аттракторов. Однако эти предположения применительно к реальным геосистемам в ряде случаев оказываются нереалистичными, что, вообще говоря, сильно ограничивает возможности моделирования переходных процессов и состояний. Трудности усугубляются тем обстоятельством, что спонтанные эмиссии — это не только временной, но и пространственный хаос в сложных распределенных активных геосистемах. Но, как известно, общей теории активных систем не существует, а каждый разработанный пример активной среды демонстрирует примеры новых типов ее динамики или самоорганизации. Очевидно, на этом фоне прогресс в исследовании спонтанных эмиссий весьма ограничивается отсутствием достаточно перспективных идей, в то время как привычные представления настолько устоялись, что даже соглашаясь с некоторой новой аргументацией, мы часто снова к ним возвращаемся, как только сталкиваемся с необычным явлением или вопросом.

Новый аспект проблемы — истолкование спонтанной эмиссии в качестве устойчивой переходной активности геосреды с конечной во времени плотностью принизывающих ее энергомассопотоков, динамика которых определяется глобальными процессами энергетики, дегазации и динамики Земли. Это отражение переходных динамических состояний и про-

цессов в геосреде, связанных с функционально определяемым взаимодействием ее различных подсистем, их синхронизацией и хаотизацией во времени, превращением одних в другие при изменении ее параметров. В известном смысле это — отражение динамического и пространственно-временного хаоса в реальной геосреде, ее метастабильных состояний и последовательности таких состояний, реализуемых при некотором пороге обмена энергией и веществом с окружающей средой. С этой точки зрения ключевые динамические объекты, подлежащие первоочередному рассмотрению — это метастабильные состояния и устойчивые переходы.

Следовательно, в рассматриваемом контексте фоновая флуктационно-диссипативная сейсмoeлектромагнитная активность литосферы или ее релаксационный шум — это продукт и отражение трансформации автоструктур или ансамблей автоструктур малой амплитуды (мягкий режим возбуждения, слабый хаос, причем слабость хаоса — ключевое условие существования литосферы). С этой точки зрения фундаментальным принципом, который может быть положен в основу моделирования спонтанных эмиссий литосферы как открытой неравновесной активной системы, является динамический анализ ее метастабильных состояний и последовательности таких состояний, определяемых взаимодействием ее подсистем. Фактически это означает формирование нового направления в исследовании генерации и распространения спонтанной эмиссии литосферы и диагностики ее состояния.

Список литературы

- Гийон Э., Митеску К. Д., Юлен Ж.-П., Ру С. Фракталы и перколяция в пористой среде. *Успехи физ. наук*. 1991. Т. 161. № 10. С. 121—128.
- Гинзбург В. Л., Цытович В. Н. Переходное излучение и переходное рассеяние (некоторые вопросы теории). Москва: Наука, 1984. 360 с.
- Гульельми А. В. Ультранизкочастотные волны в коре и в магнитосфере Земли. *Успехи физ. наук*. 2007. Т. 177. № 12. С. 1257—1276.
- Зеленый Л. М., Милованов А. В. Фрактальная топология и странная кинетика: от теории перколяции к проблемам космической электродинамики. *Успехи физ. наук*. 2004. Т. 174. № 8. С. 810—851.
- Зосимов В. В., Лямшев А. М. Фракталы в волновых процессах. *Успехи физ. наук*. 1995. Т. 165. № 4. С. 361—401.
- Иудин Д. И. Фрактальная динамика активных систем: Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Нижний Новгород, 2005. 30 с.
- Кагомцев Б. Б. Динамика и информация. *Успехи физ. наук*. 1994. Т. 164. № 5. С. 449—530.
- Левшенко В. Т. Сверхнизкочастотные электромагнитные сигналы литосферного происхождения: Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Москва: ОНФЗ РАН, 1995. 36 с.
- Лоскутов А. Ю. Очарование хаоса. *Успехи физ. наук*. 2010. Т. 180. № 2. С. 1305—1329.
- Лукк А. А., Дещерский А. В., Сигорин А. Я., Сигорин И. А. Вариации геофизических полей как проявление детерминированного хаоса во фрактальной среде. Москва: Изд. ОИФЗ РАН, 1996. 210 с.

- Рабинович М. И., Мюезинолу М. К. Нелинейная динамика мозга: Эмоции и интеллектуальная деятельность. *Успехи физ. наук.* 2010. Т. 180. № 4. С. 371—387.
- Руманов Э. Н. Критические явления вдали от равновесия. *Успехи физ. наук.* 2013. Т. 183. № 1. С. 103—112.
- Сурков В. В. Электромагнитные эффекты при землетрясениях и взрывах. Москва: Изд. Моск. инж.-физ. ин-та, 2000. 235 с.
- Хаякова М., Коровкин Н. В. Сейсмоэлектромагнитные явления как новая область исследования радиоволновых явлений. *XII Всемирный электротехн. конгресс. 4—5 октября 2011 г.* Доклады и презентации. <http://www.ruscable.ru/article/report>.
- Чеботарева И. А. Структура и динамика геосреды в шумовых сейсмических полях. Методы и экспериментальные результаты. Акустика неоднородных сред. *Ежегодник РАО.* 2011. Вып. 12. С. 147—156.
- Шуман В. Н. Нелинейная динамика геосреды: переходные процессы и критические явления. *Геофиз. журн.* 2014а. Т. 36. № 6. С. 129—142.
- Шуман В. Н. Нелинейная динамика, сейсмичность и аэрокосмические зондирующие системы. *Геофиз. журн.* 2015а. Т. 37. № 2. С. 38—55.
- Шуман В. Н. Сейсмический процесс и современные мониторинговые системы. *Геофиз. журн.* 2014б. Т. 36. № 4. С. 50—64.
- Шуман В. Н. Сейсмоэлектромагнетизм и пространственно-временные структуры. *Геофиз. журн.* 2015б. Т. 37. № 6. С. 24—41.
- Шуман В. Н. Электродинамика фрактальных сред, переходное фрактальное рассеяние и электромагнитный шум литосферы. *Геофиз. журн.* 2012. Т. 34. № 1. С. 3—13.
- Шуман В. Н., Коболев В. П., Старостенко В. И., Буркинский И. Б., Лойко Н. П., Захаров И. Г., Яцюта Д. А. Метод анализа спонтанной электромагнитной эмиссии Земли: физические предположения, полевой эксперимент, элементы теории. *Геофиз. журн.* 2012. Т. 34. № 4. С. 40—61.
- Surkov V., Hayakawa M., 2014. Ultra and Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields. Springer Geophysics Series XVI, Springer Japan. 486 p.

Spontaneous emission activity of lithosphere and seismoelectromagnetic phenomena

© V. N. Shuman, 2016

New ideas and approaches to description of spontaneous emission of lithosphere are being discussed — seismic, seismoacoustic and electromagnetic based on analysis of non-stationary processes and metastable conditions in active geomedium. It is accentuated that these emissions are not only a dynamic but also a spatial-temporal chaos in distributed energy-saturated geo-systems. Attention is concentrated on a diffusion-relaxation component of lithospheric noise interpreted as a reflection of nonlinear dynamics of non-equilibrium geomedium, a result of interaction and concordance between mechanisms of its self-organization, which determine the trends of evolutionary processes development and effects of dynamic relaxation, which reflect the role of fluctuation-dissipative factors. Essential role of criticality fronts in the processes of their generation is being noted, in particular, of percolation-diffusion ones and of related transitional processes in non-stationary geomedium, which are called transitional dispersion. It is considerable that spontaneous emissions as ordered spatial-temporal structures, which are determined by the properties of geo-system, might be interpreted in terms of self-excited oscillations of relaxation type and, in particular, auto-structures.

Key words: seismic and electromagnetic emission, models of generation, evolution of geosystems, transitional activity, dissipative structures, metastable conditions, transitional dispersion, auto-structures.

References

- Guyon E., Mitesku K. D., Yulen Zh.-P., Ru S., 1961. Fractals and percolation in porous media. *Uspekhi fizicheskikh nauk* 177(12), 1257—1276 (in Russian).
- Ginzburg V. L., Tsyтович V. N., 1984. Transition radiation and transition scattering (some questions of the theory). Moscow: Nauka, 360 p. (in Russian).
- Guglielmi A. V., 2007. Ultralow frequency wave in the crust and in the Earth's magnetosphere. *Uspekhi*

- fizicheskikh nauk* 177(12), 1257—1276 (in Russian).
- Zelenyy L. M., Milovanov A. V., 2004. Fractal topology and strange kinetics: from percolation theory to problems in cosmic electrodynamics. *Uspehi fizicheskikh nauk* 174(8), 810—851 (in Russian).
- Zosimov V. V., Lyamshev L. M., 1995. Fractals in wave processes. *Uspehi fizicheskikh nauk* 165(4), 361—401 (in Russian).
- Iudin D. I., 2005. Fractal dynamics of the active systems: the Abstract of dissertations of the Dr. phys. and math. sci. Nizhny Novgorod, 30 p. (in Russian).
- Kadomtsev B. B., 1994. Dynamics and information. *Uspehi fizicheskikh nauk* 164(5), 449—530 (in Russian).
- Levshenko V. T., 1995. ELF electromagnetic signals of lithospheric origin: the Abstract of dissertations of the Dr. phys. and math. sci. Moscow, 36 p. (in Russian).
- Loskutov A. Yu., 2010. Fascination of chaos. *Uspehi fizicheskikh nauk* 180(2), 1305—1329 (in Russian).
- Lukk A. A., Deshcherskiy A. V., Sidorin A. Ya., Sidorin I. A., 1996. Variations of geophysical fields as a manifestation of deterministic chaos in fractal media. Moscow: Publ. House UIPE RAS, 210 p. (in Russian).
- Rabinovich M. I., Myuezinolu M. K., 2010. Nonlinear dynamics of the brain: emotion and cognition. *Uspehi fizicheskikh nauk* 180(4), 371—387 (in Russian).
- Rumanov E. N., 2013. Critical phenomena far from equilibrium. *Uspehi fizicheskikh nauk* 183(1), 103—112 (in Russian).
- Surkov V. V., 2000. Electromagnetic effects during earthquakes and explosions. Moscow: Publ. House MEPI, 235 p. (in Russian).
- Hayakawa M., Korovkin N. V., 2011. Seismoelectromagnetic phenomena as a new field of study radio wave phenomena: XII World Electrotechnical Congress. 4—5 October 2011 Presentations (in Russian). <http://www.ruscable.ru/article/report>.
- Chebotarev I. A., 2011. Structure and dynamics of seismic noise in geoenvironment fields. Methods and experimental results. The acoustics of inhomogeneous media. *Ezhegodnik RAO* (is. 12), 147—156 (in Russian).
- Shuman V. N., 2014a. Nonlinear dynamics of geomedium: transitional processes and critical phenomena. *Geofizicheskiy zhurnal* 36(6), 129—142 (in Russian).
- Shuman V. N., 2015a. Nonlinear dynamics, seismic activity and aerospace sounding systems. *Geofizicheskiy zhurnal* 37(2), 38—55 (in Russian).
- Shuman V. N., 2014b. Seismic processes and advanced monitoring system. *Geofizicheskiy zhurnal* 36(4), 50—64 (in Russian).
- Shuman V. N., 2015b. Seismoelectromagnetism and spatio-temporal structures *Geofizicheskiy zhurnal* 37(6), 24—41 (in Russian).
- Shuman V. N., 2012. Electrodynamics of fractal media, transitional fractal dispersion and electromagnetic noise of the lithosphere. *Geofizicheskiy zhurnal* 34(1), 3—13 (in Russian).
- Shuman V. N., Kobolev V. P., Starostenko V. I., Burkinskiy I. B., Loyko N. P., Zakharov I. G., Yatsiuta D. A., 2012. A method of analysis of spontaneous electromagnetic emission of the Earth: physical backgrounds, elements of theory, field experiment. *Geofizicheskiy zhurnal* 34(4), 40—61 (in Russian).
- Surkov V., Hayakawa M., 2014. Ultra and Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields. Springer Geophysics Series XVI, Springer Japan. 486 p.