

Сведения о выполненных работах в 2020 году
по проекту «**Механизмы генерации и распространения медленных волн деформации. Их роль в формировании очагов катастрофических разрушений, включая сейсмические активизации**»,
поддержанному Российским научным фондом
Соглашение № 19-17-00122

Руководитель Макаров Павел Васильевич, д-р физ.-мат. наук

К настоящему времени в геодинамике на основе почти пятидесятилетних наблюдений за процессами миграции геофизических полей и миграций сейсмических активизаций сформировалась концепция медленных деформационных волн Земли. Эти медленные движения распространяются в геосредах со скоростями на 5-7 порядков меньшими, чем скорости звука. Стало также понятно, что подобная динамика нагруженной геосреды является важнейшей частью общего процесса эволюции напряженно-деформированного состояния геосреды как типичной нелинейной динамической системы.

В природе существует множество различных процессов, которые могут быть объединены термином медленная динамика. В частности, многие процессы из этого класса представляют автоволновую и автосолитонную динамику. Так как автоволны можно рассматривать как простейшие бегущие автосолитоны, мы предлагаем говорить об автосолитонах и автосолитонной динамике. Автосолитоны, как уединенные локализованные возмущения, могут быть сгенерированы в активных средах. Их тип (статические, бегущие, пульсирующие) и свойства (амплитуда, скорость) полностью определяются нелинейными свойствами среды и никак не зависят от возмущений на границе, которое может привести к локальной потере устойчивости неравновесной системы и генерации в ней автоволнового возмущения. Это их принципиально отличает от солитонов, которые генерируются в консервативных средах и свойства, которых полностью определяются этими воздействиями. По этой причине солитонная концепция медленных деформационных возмущений в геосредах, которая стала популярной в последние годы, не является верной, противореча физике наблюдаемых процессов. Все геосреды являются нагруженными, т.е. активными средами. В работе показано, что наблюдаемые в геосредах медленные деформационные возмущения, скорости которых на 5-7 порядков ниже скоростей звука, являются по своей физической природе автосолитонами. Деформационное автосолитонное возмущение в геосреде представляет из себя распространяющееся по нагруженной среде возмущение скорости деформации. К статическим автосолитонам относятся и области разломов, как области локализованной деформации и повреждений.

Традиционно автоволновые и автосолитонные возмущения описываются системами уравнений параболического типа. В приближении среднего поля обоснована модель и записана система двух нелинейных неоднородных уравнений параболического типа, описывающих широкий спектр деформационных

автосолиitonных возмущений. Приведены типичные решения этих уравнений, моделирующих генерацию автосолиitonов, их распространение и взаимодействия.

Наиболее общей математической моделью деформационных автосолиitonных возмущений являются уравнения механики деформируемого твердого тела. Показано, что решения этих уравнений на больших временах могут приводить к генерации деформационных возмущений, которые с малыми скоростями распространяются на фоне сложившегося в прочной среде напряженно-деформированного состояния. Эти возмущения, как правило, низкоамплитудны, а их скорости пропорциональны скоростям импульсных воздействий на границах, сгенерировавших эти деформационные автосолиitonные возмущения.

На примере моделирования деформационных фронтов Людерса, которые нами рассматриваются как типичные автосолиitonные возмущения, численно изучены зависимости параметров возмущений (скорости, амплитуды) от реологии прочной среды (верхнего и нижнего предела текучести, коэффициента деформационного упрочнения). Изучена структура фронтов, зависимости скорости фронта от скорости нагружения и реологии среды.

Подробно изучены особенности генерации, распространения и структуры фронтов как внутриразломных, так и межразломных деформационных автосолиitonных возмущений. В случае узких разломных зон внутриразломное автосолиitonное возмущение распространяется по разлому со скоростью, пропорциональной скорости импульсного воздействия. При прекращении этого воздействия скорость возмущения быстро падает, возмущение затухает.

В широких разломах формируются медленные автосолиitonные возмущения сложной структуры. Изучена структура фронта такого возмущения при продольном сжатии среды, состоящей из двух блоков с разломом между ними. Возмущение формируется в области концентраторов напряжений на интерфейсах и, разрастаясь, пересекает разлом. Эти процессы формирования медленных возмущений происходят последовательно на двух противоположных интерфейсах разлома, постепенно продвигаясь по разлому в продольном направлении.

Межразломные автосолиitonные возмущения также первоначально формируются в областях концентраторов напряжений на интерфейсах разлом-блок. Численно изучены особенности формирования и распространения автосолиitonных возмущений в блочной среде при различной ориентации разломов по отношению к направлению нагружения – разлом перпендикулярен, параллелен, находится под углом к оси нагружения. Во всех этих случаях формируется сложная картина взаимодействующих деформационных автосолиitonов. Неупругая деформация за фронтами существенно неоднородна, локализована. Области локализации неупругой деформации и повреждений можно рассматривать как зародыши разломов разных масштабов.

Таким образом, изучение параметров и свойств медленных деформационных возмущений выявило их автоволновую природу. Полученные решения показали, что в нагружаемой прочной среде формируются три типа автосолиitonов: 1) статические; 2) пульсирующие; 3) бегущие. Причем, при определенных условиях бегущие

автосолионы взаимодействуют как не вполне упругие частицы, отталкиваются либо сливаются со статическими, формируя в прочной упругопластической среде диссипативные структуры – полосы локализованной деформации. Этот процесс приближает отдельные области разлома к критическому состоянию.

Полученные результаты позволили сформулировать автосолитонную концепцию медленных деформационных волн в Земле и процессов формирования в геосредах диссипативных структур, к которым следует отнести разломы. Разлом как статический автосолитон превращается в пульсирующий при активизации в нем или в его части деформационного процесса. Такие активизации разных масштабов – разных интенсивностей скоростей деформирования – можно трактовать как сейсмический процесс.