

О моделировании геодеформационных процессов земной коры и обработке данных радарной интерферометрии полуострова Камчатка за 2016–2018 года

Пережогин А.С.

XVI Всероссийская Открытая конференция
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА
12–16 ноября 2018 года, Москва, ИКИ РАН

Содержание

- Моделирование областей повышенных напряжений
- Моделирование с учетом фрактальных свойств геосреды
- Данные радарной интерферометрии по территории Камчатки 2016-2018

Введение

- В работах по моделированию зон геодеформационного влияния в геосреде [1, 2, 3, 4] рассматриваются модели формирования зон дилатансии (разуплотнения среды) и геоакустической эмиссии в результате повышенных напряжений и деформаций горных пород земной коры.
- Обычно используемая физико-математическая модель, которая описывает области повышенных напряжений и деформаций, известна как модель Миндлина [5]. В этой модели земная кора рассматривается в приближении упругого однородного изотропного полупространства, в которой существуют различные источники сосредоточенных сил.

Нелинейный критерий образования зоны дилатансии D_τ [1]:

$$D_\tau = \tau - \alpha(P + \rho gz) - Y \geq 0, \quad (1)$$

τ – величина касательных напряжений

P – гидростатическое давление

α – коэффициент внутреннего трения

ρ – плотность горной породы

z – глубина расчетной точки

Y – сцепление породы

Линейный критерий дилатансии [1]

$$D_{\sigma} = \begin{cases} \sigma_1(1 - \sin(\phi))/2 - \sigma_3(1 + \sin(\phi))/2 - Y \cos(\phi), & -\sigma_3 > \sigma_r \\ -\sigma_3 - \sigma_r, & -\sigma_3 < \sigma_r \end{cases} \quad (2)$$

$\phi = 30^\circ$ – угол внутреннего трения

$\sigma_r = 8 \cdot 10^6$ Па – прочность среды на растяжение.

Критерий максимальных касательных напряжений [3]

$$\sigma_{max} = \max(|\sigma_1 - \sigma_2|, |\sigma_2 - \sigma_3|, |\sigma_3 - \sigma_1|) \quad (3)$$

σ_i – главные напряжения

Величину сосредоточенного источника определим значениями тензора сейсмического момента [6]

$$M = \begin{bmatrix} M_{tt} & M_{tp} & M_{tr} \\ M_{tp} & M_{pp} & M_{pr} \\ M_{tr} & M_{pr} & M_{rr} \end{bmatrix} \cdot 10^{23} \text{ дин} \cdot \text{см} = \quad (4)$$

$$= \begin{bmatrix} -1.10 & -1.18 & 0.48 \\ -1.18 & -1.22 & 0.80 \\ 0.48 & 0.80 & 2.32 \end{bmatrix} \cdot 10^{16} \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (5)$$

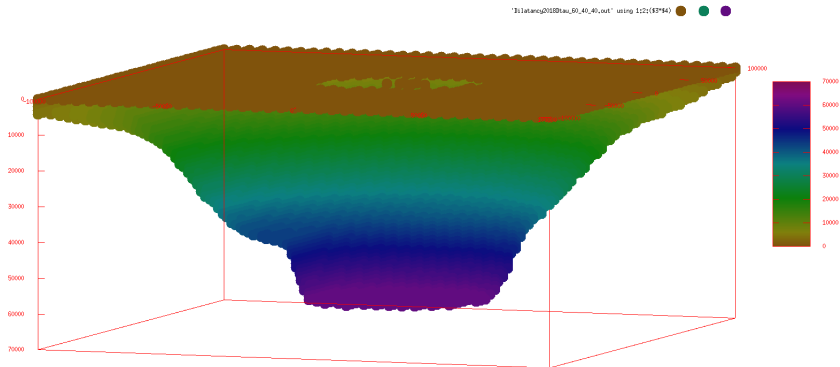


Рис. 1: Область дилатансии D_T для выбранного тензора сейсмического момента.

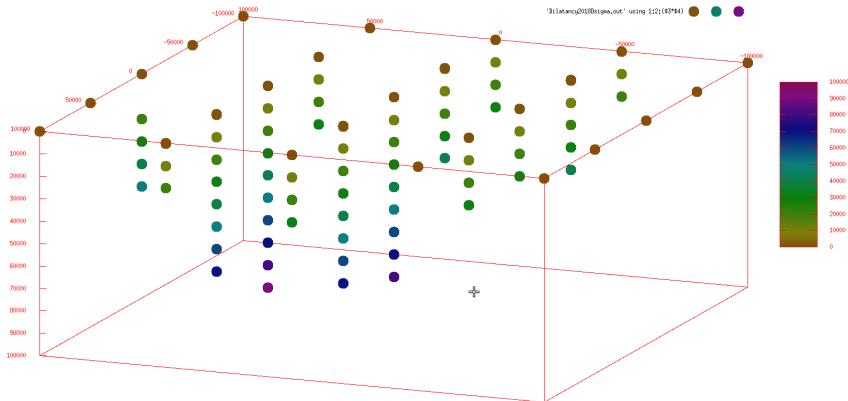


Рис. 2: Область дилатансии D_σ для выбранного тензора сейсмического момента.

Закон Гука:

$$\sigma(t) = E\varepsilon(t),$$

где $\sigma(t)$ – напряжение, $\varepsilon(t)$ – деформация, E – модуль упругости.

Другой крайний случай – это вязкая ньютоновская жидкость, когда напряжение пропорционально скорости деформации:

$$\sigma(t) = \eta \frac{d\varepsilon(t)}{dt},$$

где η – модуль вязкости.

Уравнение Кельвина-Фойгта:

$$\sigma(t) = E\varepsilon(t) + \eta \frac{d\varepsilon}{dt}. \quad (6)$$

Модель Кельвина-Фойгта с дробным оператором дифференцирования:

$$\sigma(t) = E\varepsilon(t) + \eta \frac{d^\alpha \varepsilon}{dt^\alpha}. \quad (7)$$

Sentinel-1A



Рис. 4: Полуостров Камчатка

Летний период I

Таблица 1:

Дата съемки	Имя файла	Имя орбит	Сенсор
01.07.2017	S1A_IW_SLC__1SDV _20170701T193945 _20170701T194012_017282 _01CD8D_B0B7	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD _20170721T121340_V20170630T225942_ 20170702T005942.EOF	Sentinel-1A
25.07.2017	S1A_IW_SLC__1SDV _20170725T193947 _20170725T194013_017632 _01D830_976A	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD _20170814T121532_V20170724T225942_ 20170726T005942.EOF	Sentinel-1A

Летний период II

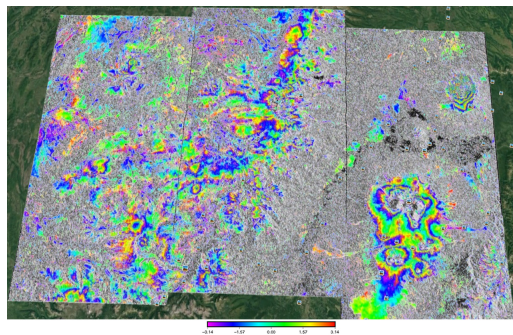


Рис. 5: Данные за период 01 июля 2017 – 25 июля 2017 (разность фаз)

Летний период III

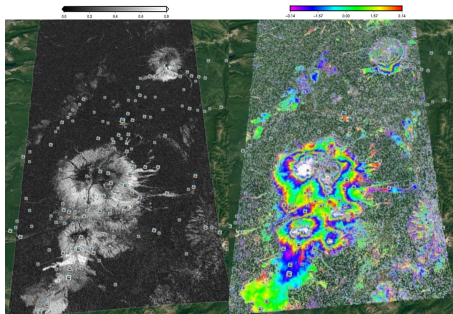


Рис. 6: Данные за период 01 июля 2017 – 25 июля 2017 (разность фаз)




- Разработан программный комплекс для математического моделирования областей повышенных напряжений (для сосредоточенных источников в виде комбинаций двойных сил).
- Выполнено моделирование зависимости деформаций от дробной степени оператора при постоянных напряжениях в рамках модели Кельвина-Фойгта.
- В летние периоды имеется высокая степень корреляции между изображениями на свободных от лесного покрова участках в северной части Камчатки за 2016-2018 года.
- По данным за 2016-2017 года получить достаточно качественные пары изображений по южной части полуострова Камчатка не удалось.





Работа выполнена в рамках проекта 18-5-002






«Информационно-вычислительная система моделирования распространения геоакустических и нелинейных деформационных возмущений в земной коре (раздел 1)»

Комплексной программы фундаментальных научных исследований Дальневосточного отделения РАН «Дальний Восток» на 2018-2020 гг.

Обработка радарных данных Sentinel-1A выполнена магистром Кашаповым И.Г. с помощью программного комплекса GMTSAR в рамках выпускной квалификационной работы. Результаты опубликованы [12].

-  Алексеев А.С., Белоносков А.С., Петренко В.Е. “О концепции многодисциплинарного прогноза землетрясений с использованием интегрального предвестника”, Проблемы динамики литосферы и сейсмичности. Вычислительная сейсмология, 32:1 (2001), 81–97.
-  Пережогин А.С., Шевцов Б.М., Сагитова Р.Н., Водинчар Г.М. “Моделирование зон геоакустической эмиссии”, Математическое моделирование, 19:11 (2007), 59–64.
-  Пережогин А.С., Шевцов Б.М. “Модели напряженно-деформированного состояния горных пород при подготовке землетрясений и их связь с геоакустическими наблюдениями”, Вычислительные технологии, 14:3 (2009), 48–57.

-  Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А. “Развитие приповерхностных зон дилатансии как возможная причина аномалий в параметрах сейсмической эмиссии перед сильными землетрясениями”, Тихоокеанская геология, 31:1 (2012), 96–106.
-  Mindlin R.D. “Force at a point in the interior of a semi-infinite solid”, Physics, 7:5 (1936), 195–202. ekstrom2012global
-  Ekström G., Nettles M., Dziewoński A.M. “The global CMT project 2004–2010: Centroid-moment tensors for 13017 earthquakes”, Physics of the Earth and Planetary Interiors, 200 (2012), 1–9.
-  Кузин И.П. Фокальная зона и строение верхней мантии в районе Восточной Камчатки. М.: Наука, 1974, 132 с.

-  Рейнер М. Реология. М.:Наука, 1965, 224 с.
-  Ревуженко А.Ф. Механика сыпучей среды. Новосибирск: Офсет, 2003, 373 с.
-  Учайкин В.В. Метод дробных производных. Ульяновск: Артишок, 2008, 512 с.
-  Ильин И.А., Нощенко Д.С., Пережогин А.С. “Численные решения системы линейных уравнений с дробной степенью матрицы дифференциального оператора”, Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки, 7:2 (2013), 7–11.
-  И.Г. Кашапов Программные средства обработки данных радарной интерферометрии по территории Камчатки, Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки, 2018, № 2(22), 53–70