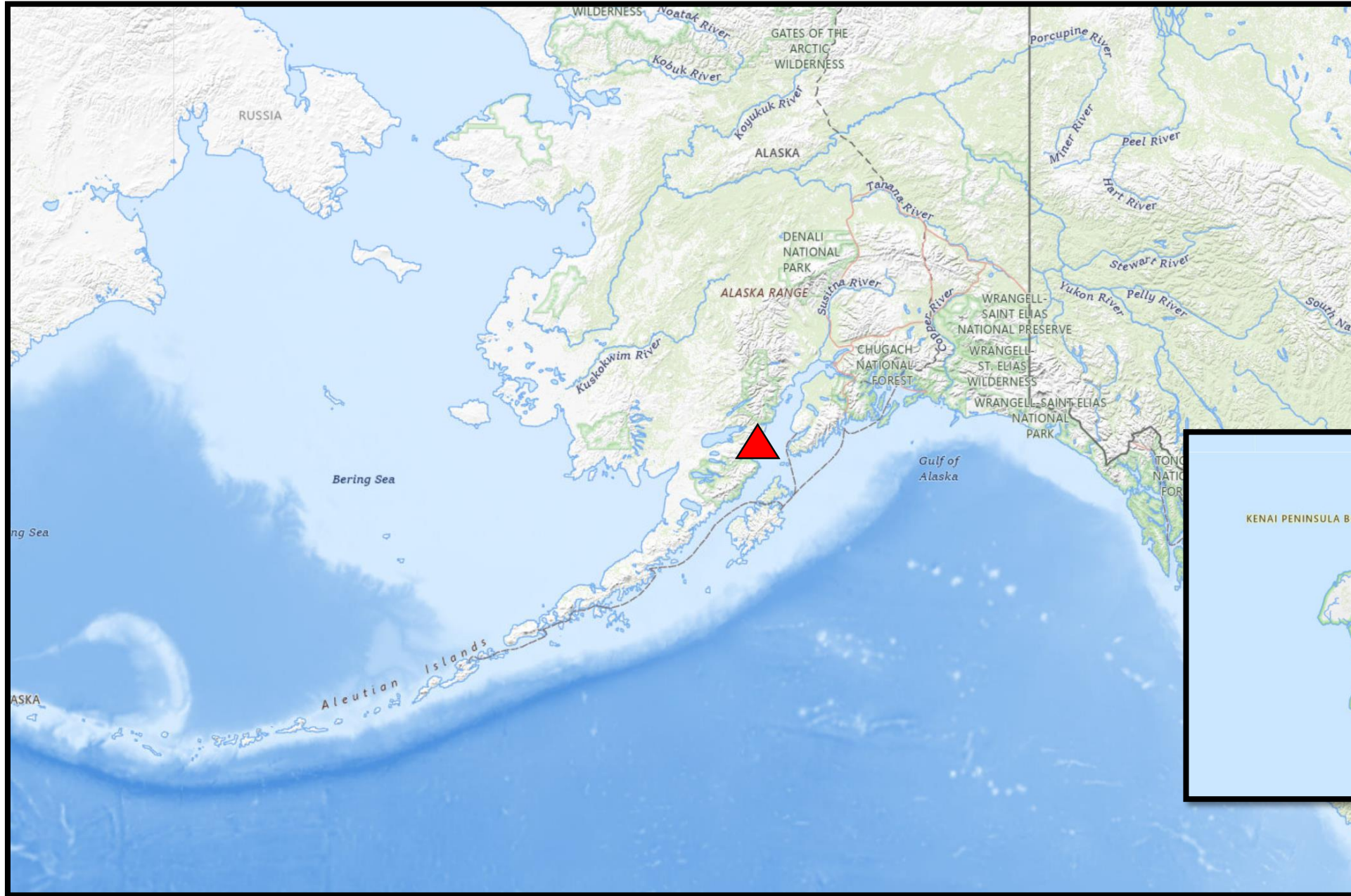




Анализ сейсмического режима процесса интрузии перед извержением вулкана Августина 2006-го года

Автор: Греков Евгений Михайлович

Вулкан Августина



Вулкан Августина

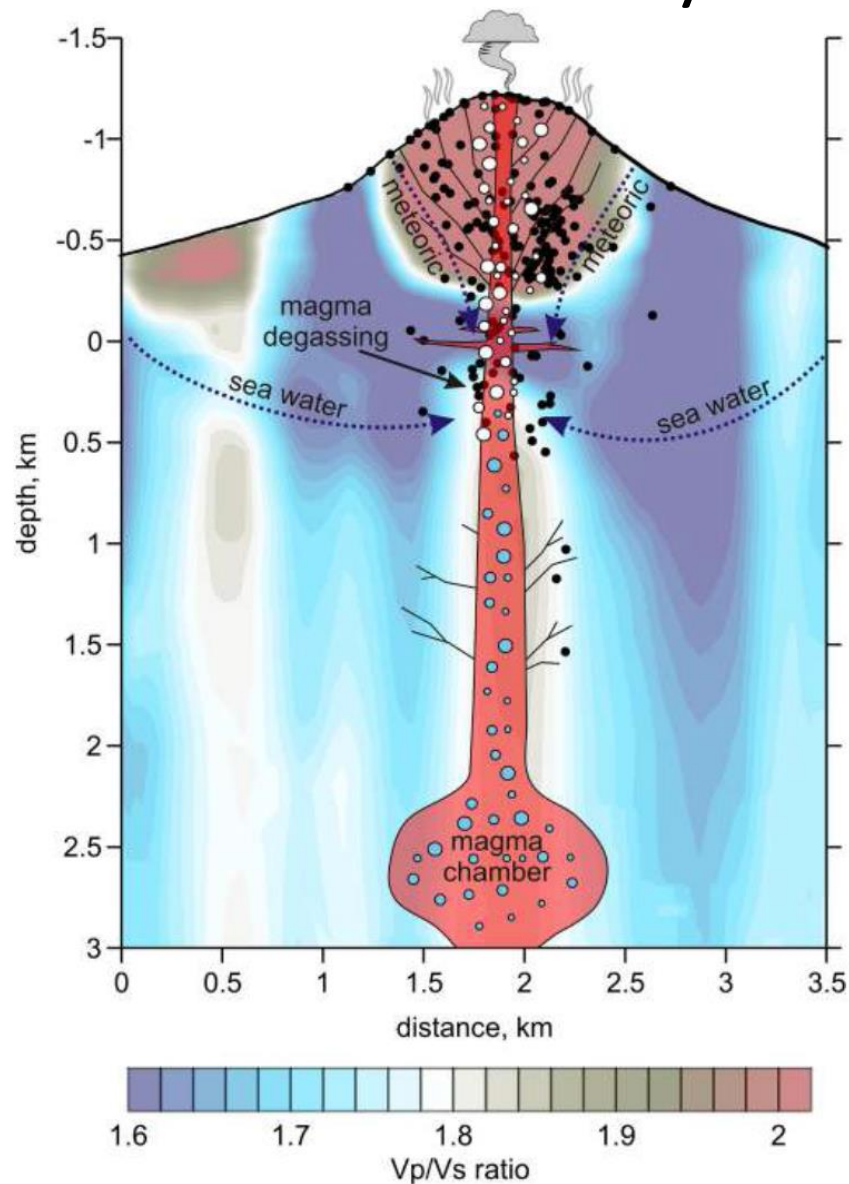
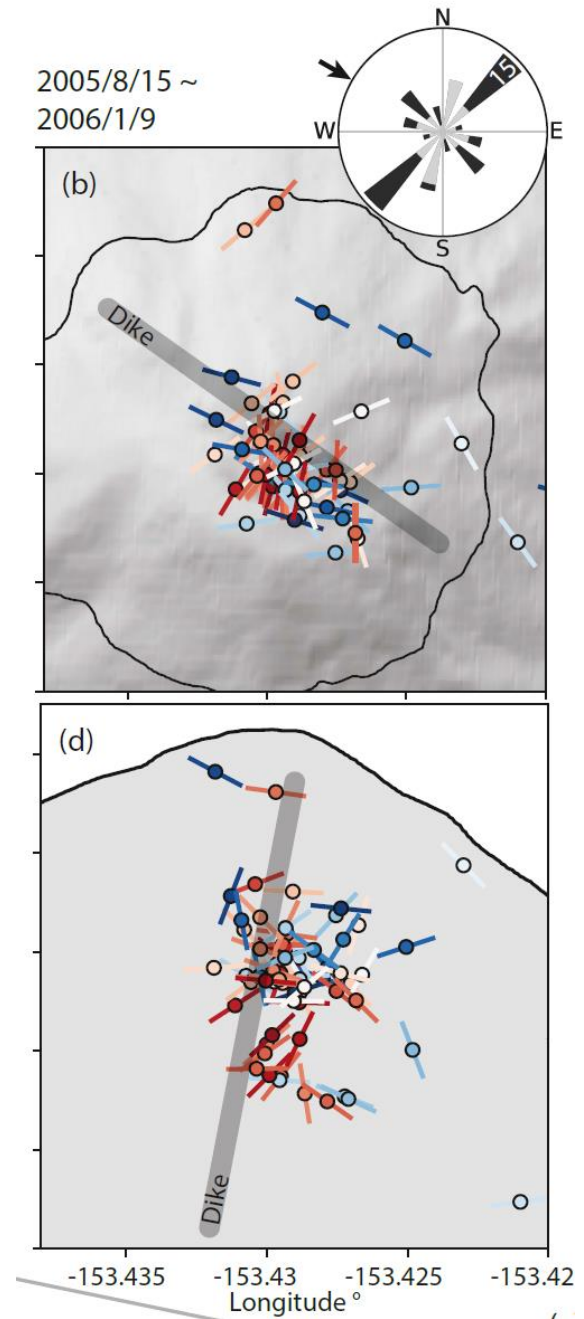
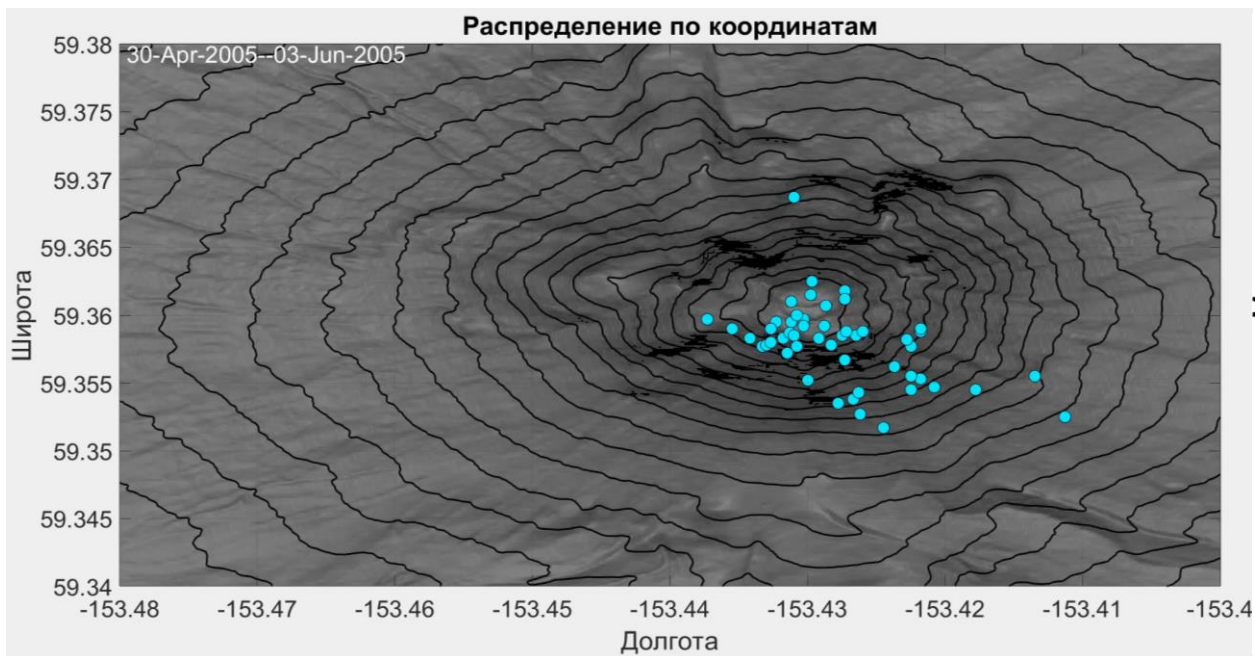


Иллюстрация из [Koulakov et al., 2023].
Схематичное устройство вулкана Августина.

Иллюстрация из [Zhan et al., 2022]. Примерное местоположение дайки во время извержения 2006-го года вулкана Августина

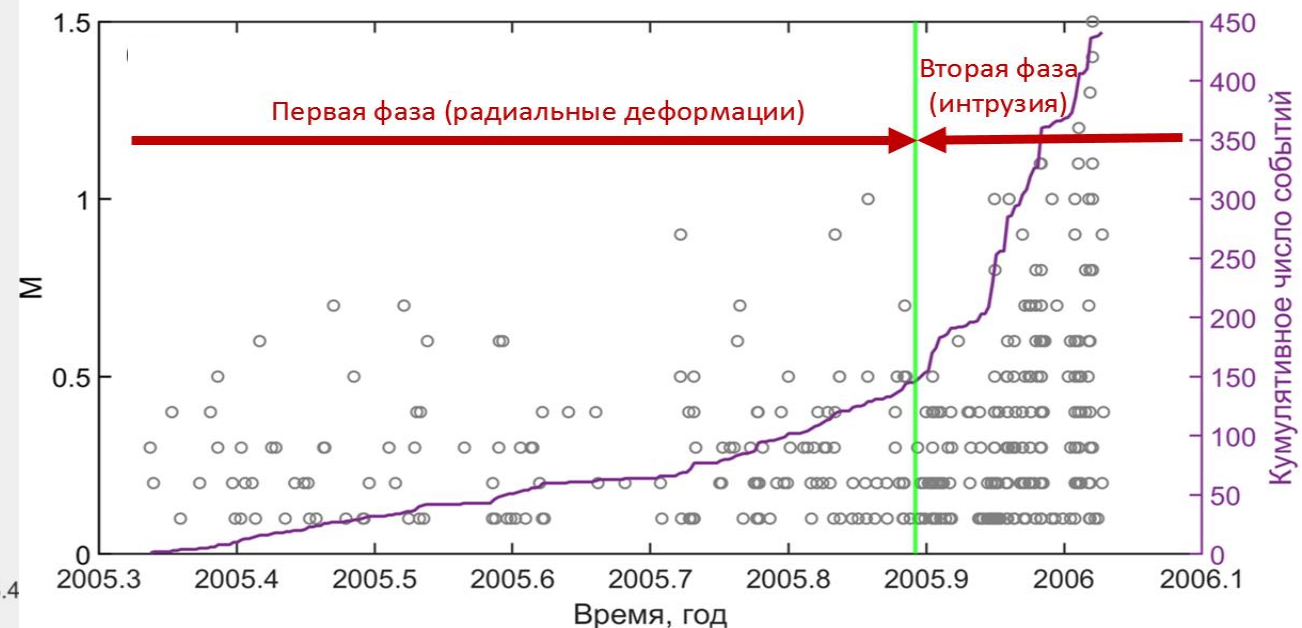


Данные



Анимация распределения событий в пространстве для исследуемого в работе участка. Все события сконцентрированы под вулканической постройкой на глубинах около 5-10 км.

Используются данные сейсмического каталога вулканической обсерватории Аляски [Power et al., 2019]. Доступно по ссылке: <https://pubs.usgs.gov/publication/sir20195037>

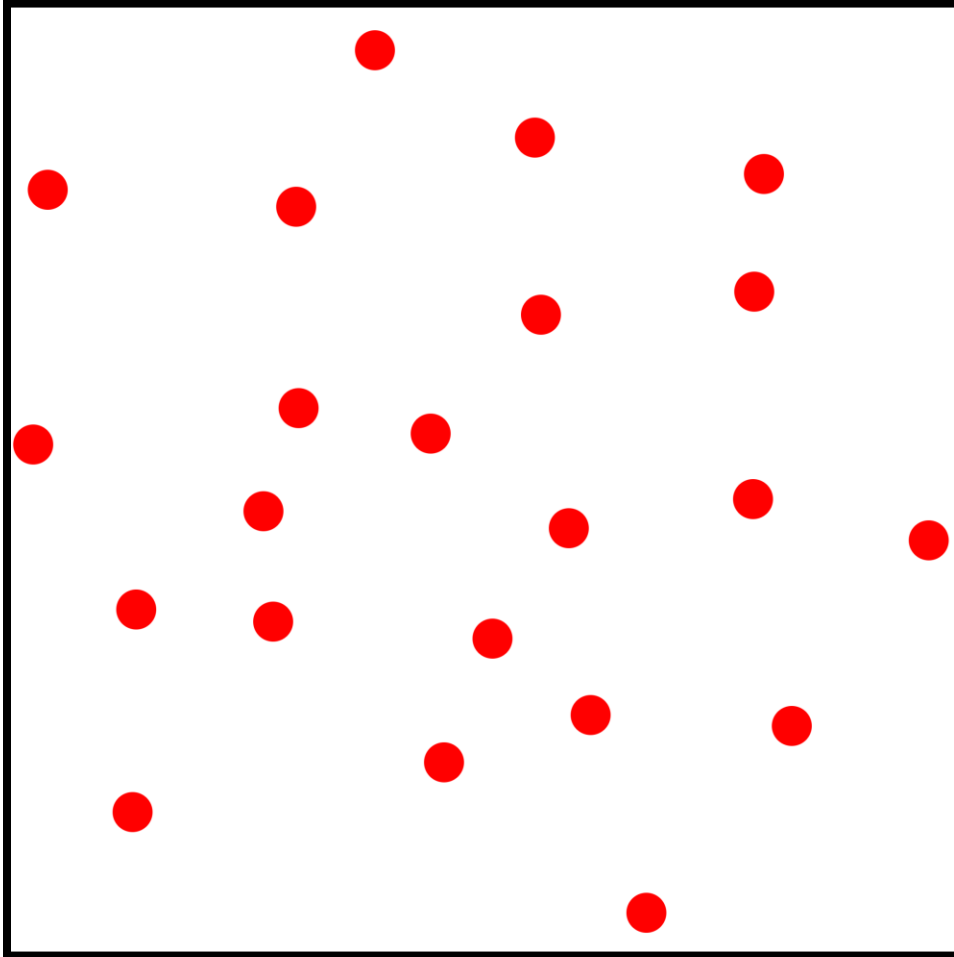


Распределение событий выше порога представительности во времени для исследуемого участка. Кружки – землетрясения, фиолетовая линия – кумулятивное число событий. Вертикальная линия соответствует дате 21.11.2005, разделяющей две фазы длинного роя

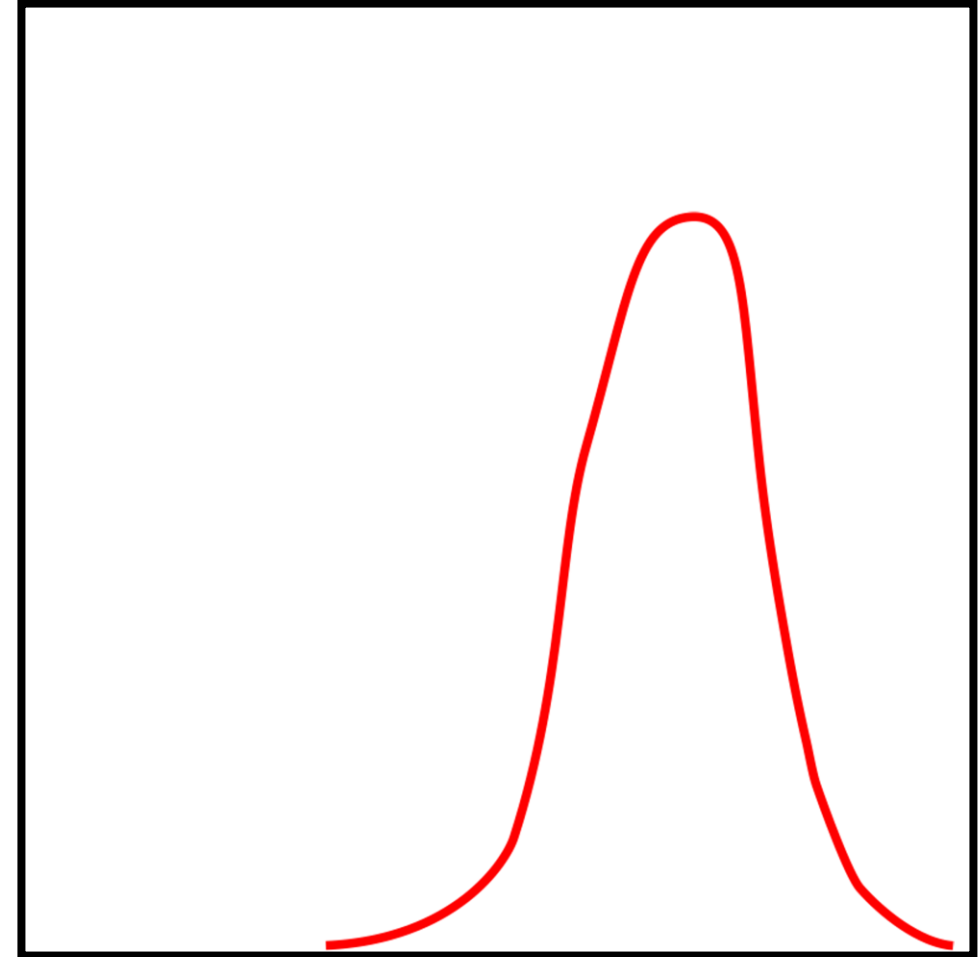
Сейсмические рои были выделены в работе [Jacobs, McNutt, 2010]

Методы

Условное распределение событий в пространстве



Условное распределение обобщенных расстояний до ближайшего соседа



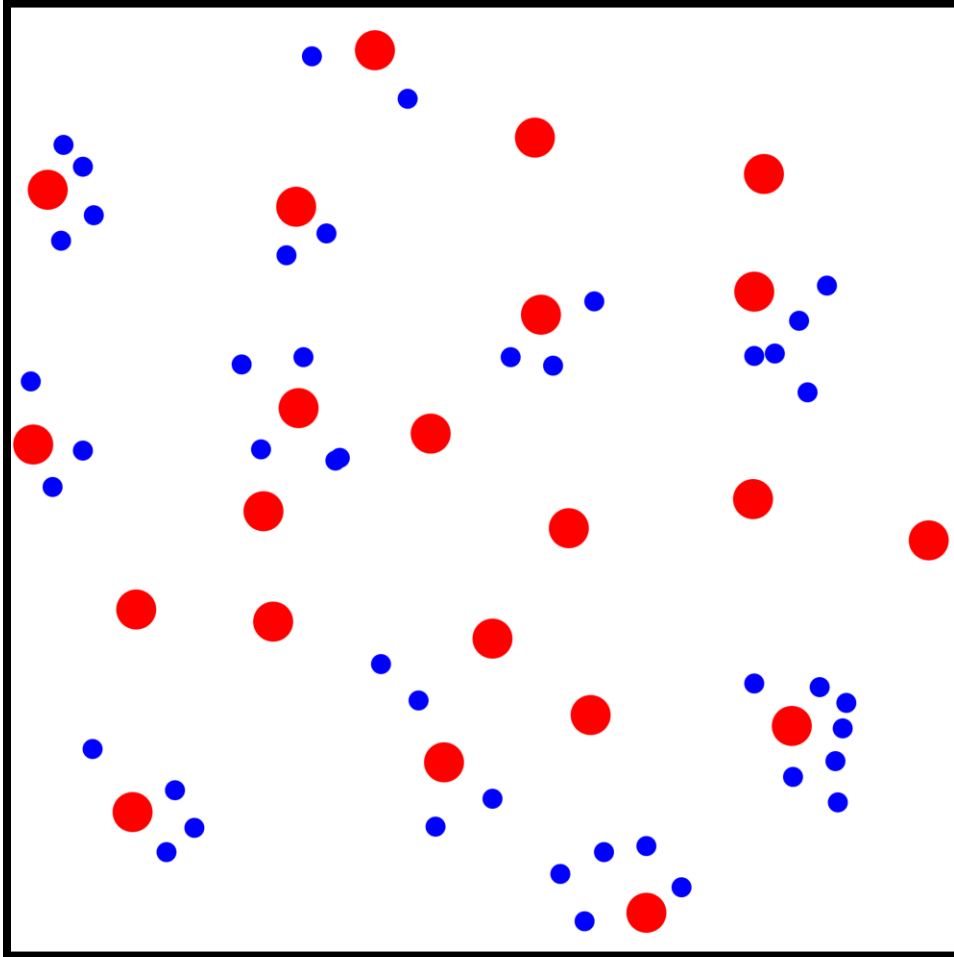
В качестве функции близости выбирается выражение [Baiesi, Paczuski, 2004]:

$$\eta_{ij} = \begin{cases} t_{ij} r_{ij}^{df} 10^{-bm_i}, & t_{ij} > 0 \\ +\infty, & t_{ij} \leq 0 \end{cases}$$

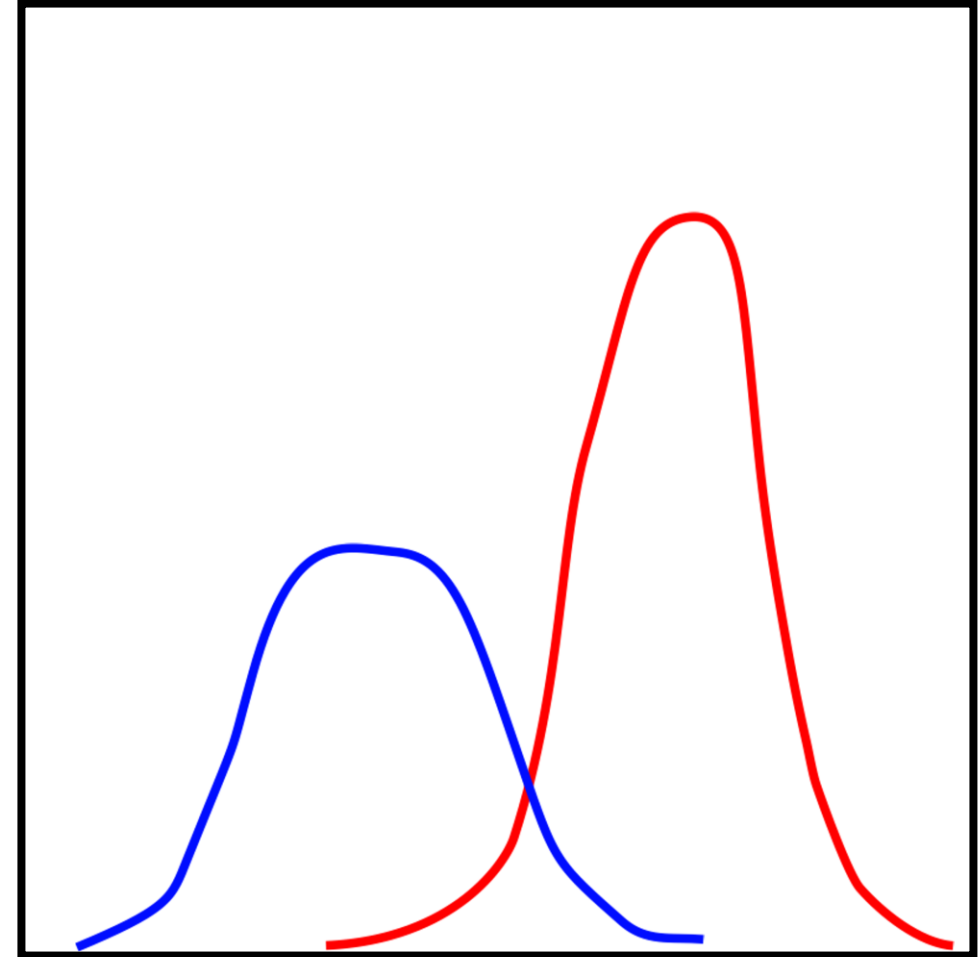
t_{ij} – время между событиями i и j , r_{ij} – пространственное расстояние между ними, m_i – магнитуда события i . b - параметр закона Гутенберга-Рихтера; df – фрактальная размерность распределения гипоцентров или эпицентров землетрясений.

Методы

Условное распределение событий в пространстве



Условное распределение обобщенных расстояний до ближайшего соседа

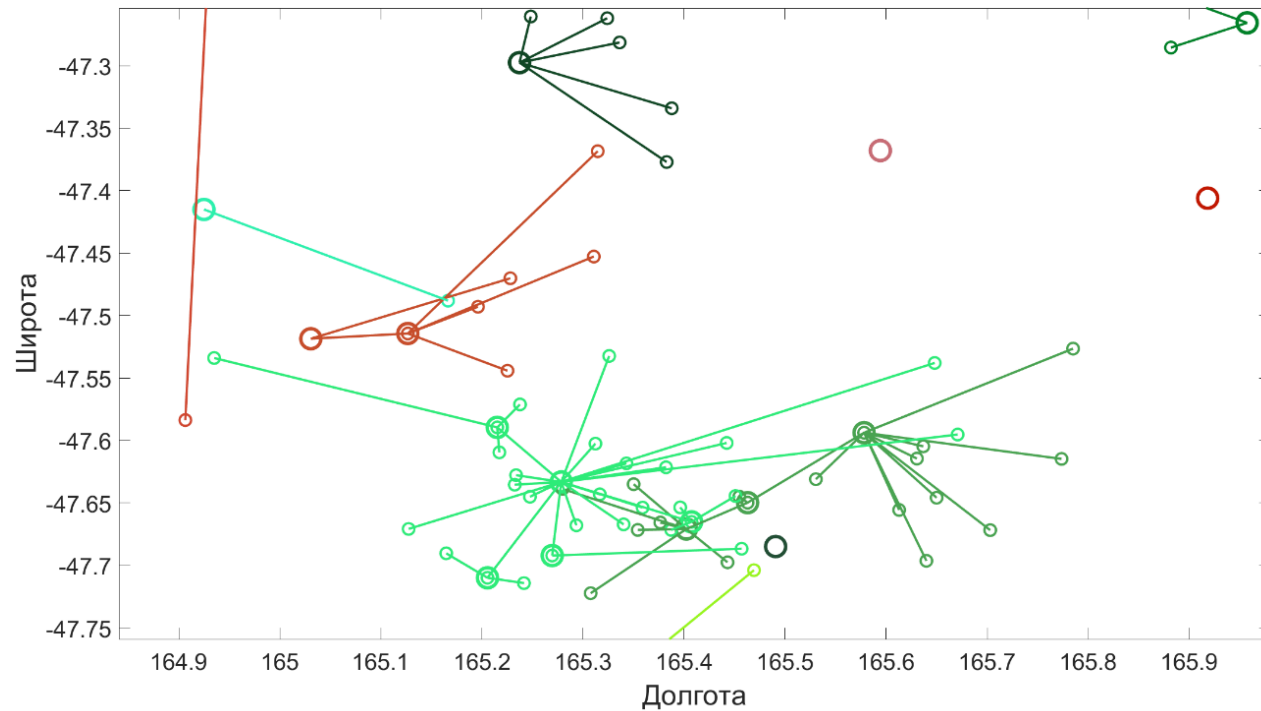


В качестве функции близости выбирается выражение [Baiesi, Paczuski, 2004]:

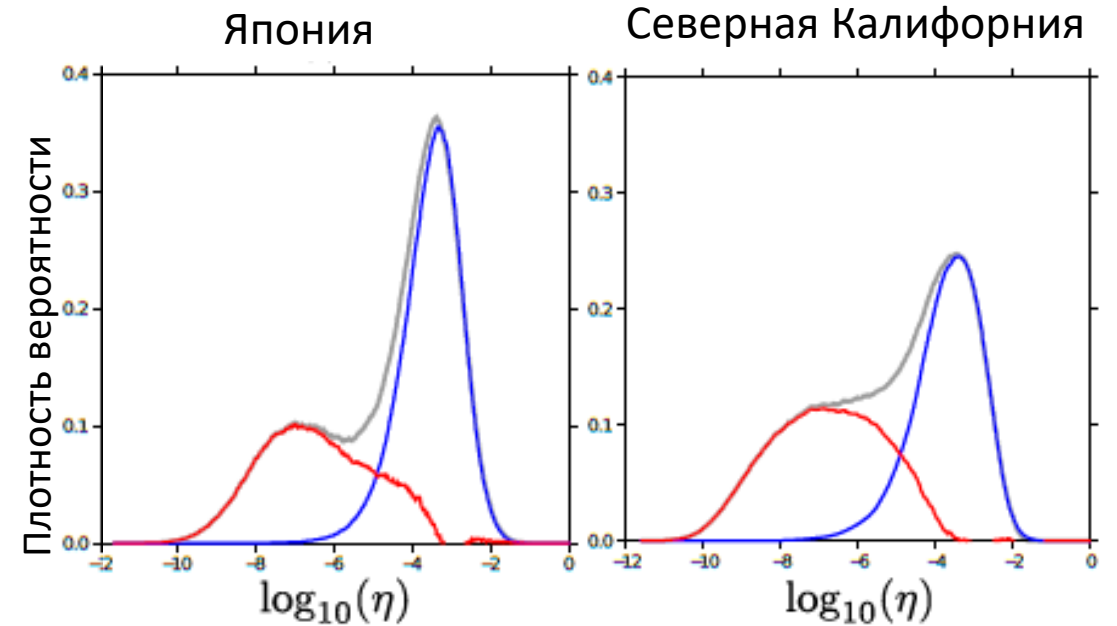
$$\eta_{ij} = \begin{cases} t_{ij} r_{ij}^{df} 10^{-bm_i}, & t_{ij} > 0 \\ +\infty, & t_{ij} \leq 0 \end{cases}$$

t_{ij} – время между событиями i и j , r_{ij} – пространственное расстояние между ними, m_i – магнитуда события i . b - параметр закона Гутенберга-Рихтера; df – фрактальная размерность распределения гипоцентров или эпицентров землетрясений.

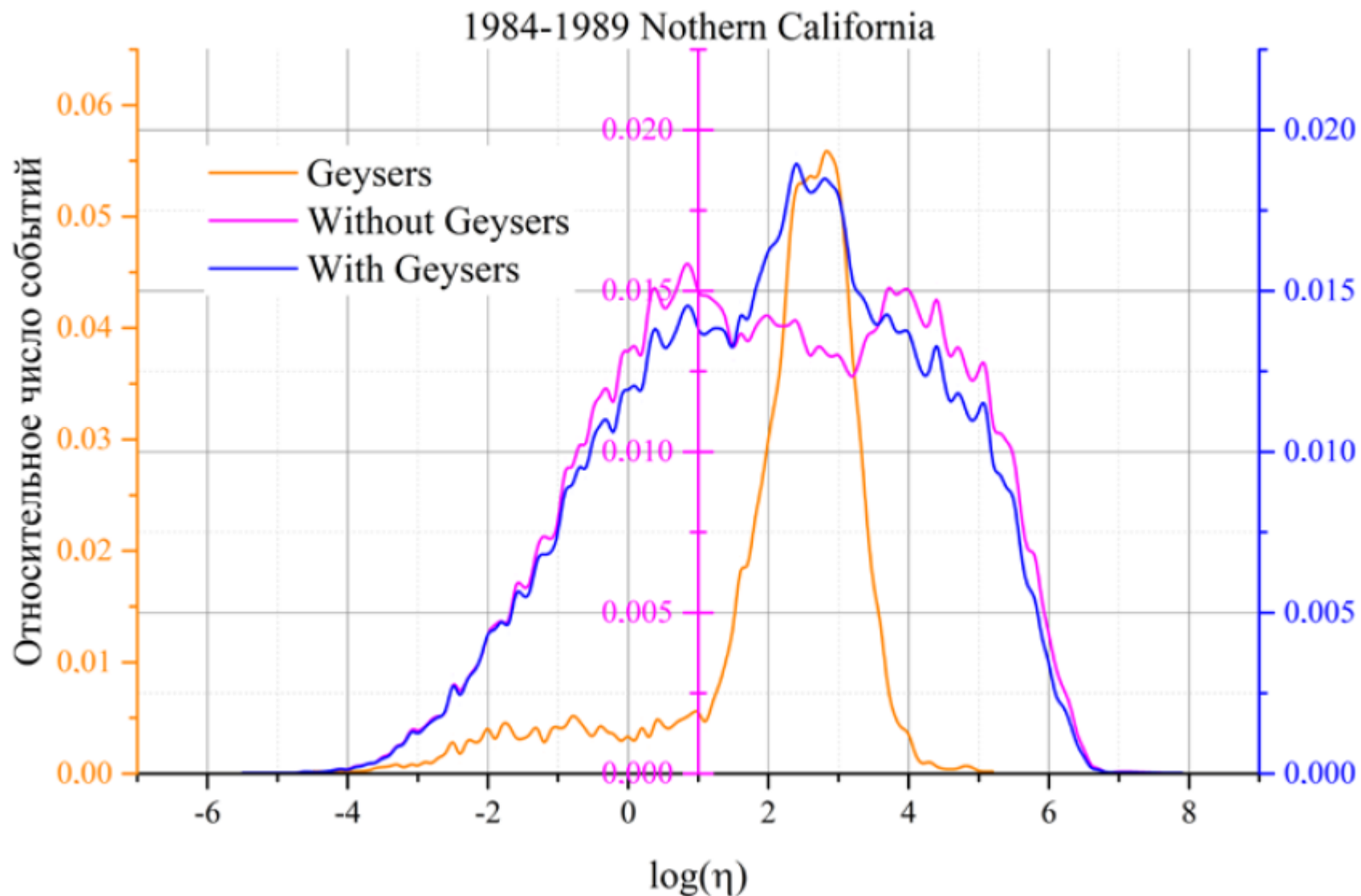
Методы



Пример выделенных кластеров из каталога Новой Зеландии. Большие кружки – события-триггеры (мейншоки), маленькие – события-потомки, двойной кружок означает, что событие является одновременно триггером одного события и потомком другого.

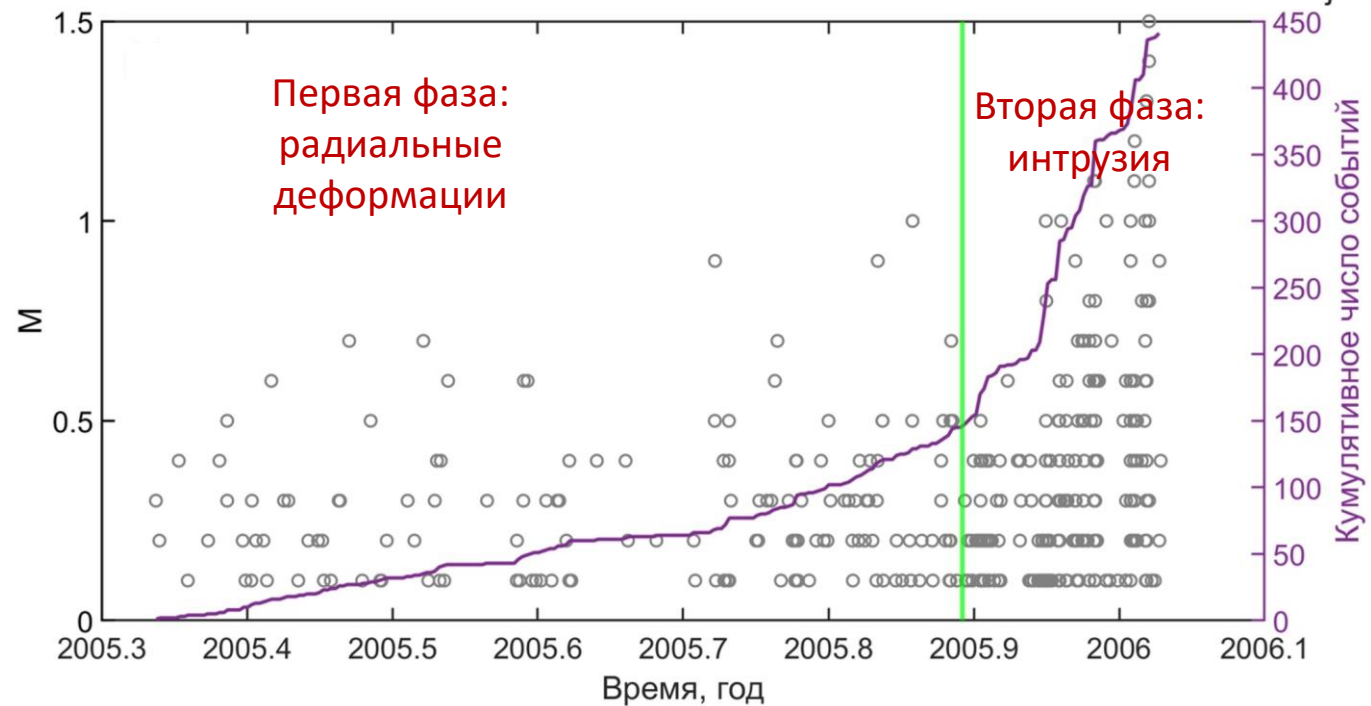
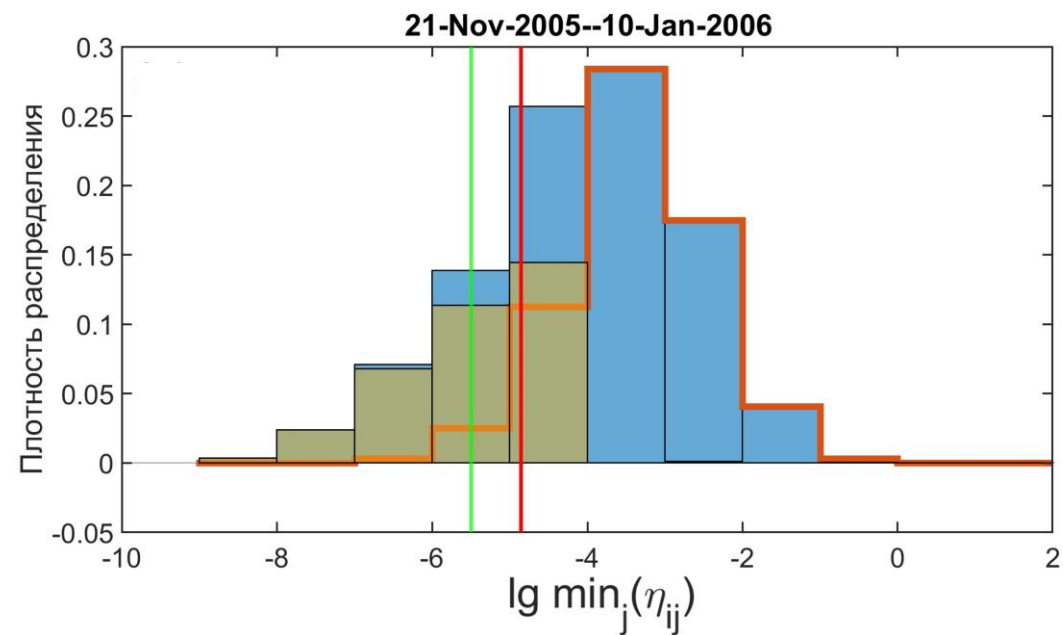
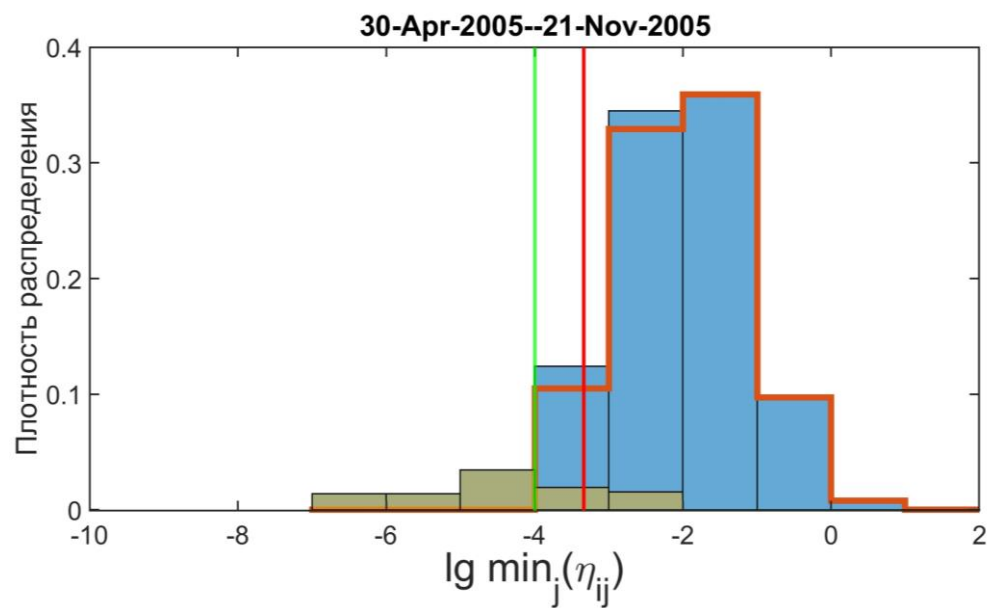


Распределения обобщённых расстояний до ближайшего соседа (η), серая линия – реальное распределение, **синяя линия – фоновый пик**, **красная линия – кластеризованный пик**. Из работы [Shebalin, Narteau, Baranov, 2020]. Метод разработан в [Zaliapin, Ben-Zion, 2013].



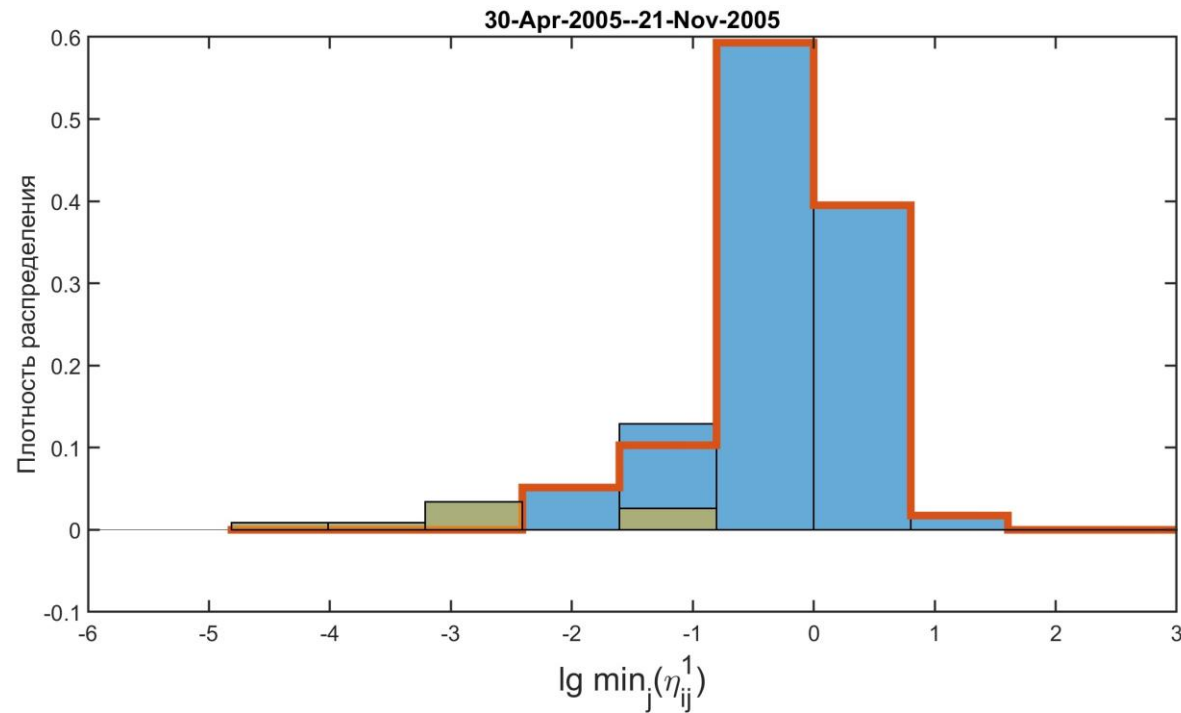
Распределение расстояния до ближайшего соседа для трёх различных каталогов в 1984-1989 годах: всей Северной Калифорнии (синий), Северной Калифорнии без Гейзеров (фиолетовый), Гейзеров (оранжевый) из [Малютин, 2023]

Фазы активизации перед извержением вулкана

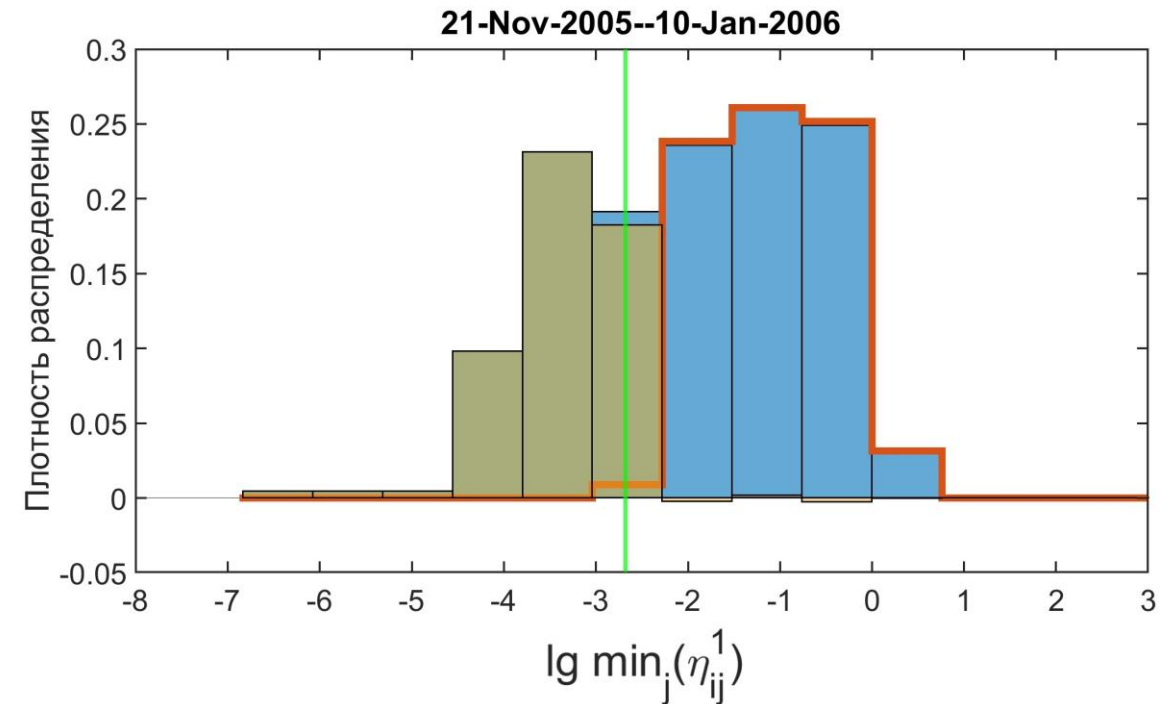


Декомпозиция без учета пространственного расстояния

$$\eta_{ij}^1 = \begin{cases} t_{ij} 10^{-cm_i}, & t_{ij} > 0 \\ +\infty, & t_{ij} \leq 0 \end{cases}$$

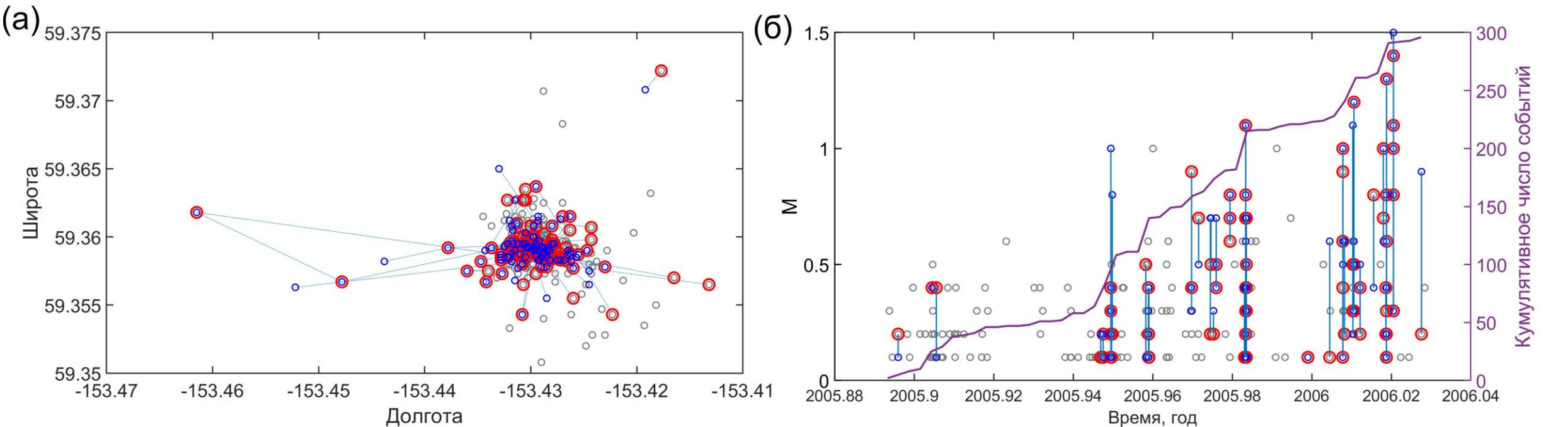


Для первой фазы длинного роя (радиальные деформации)



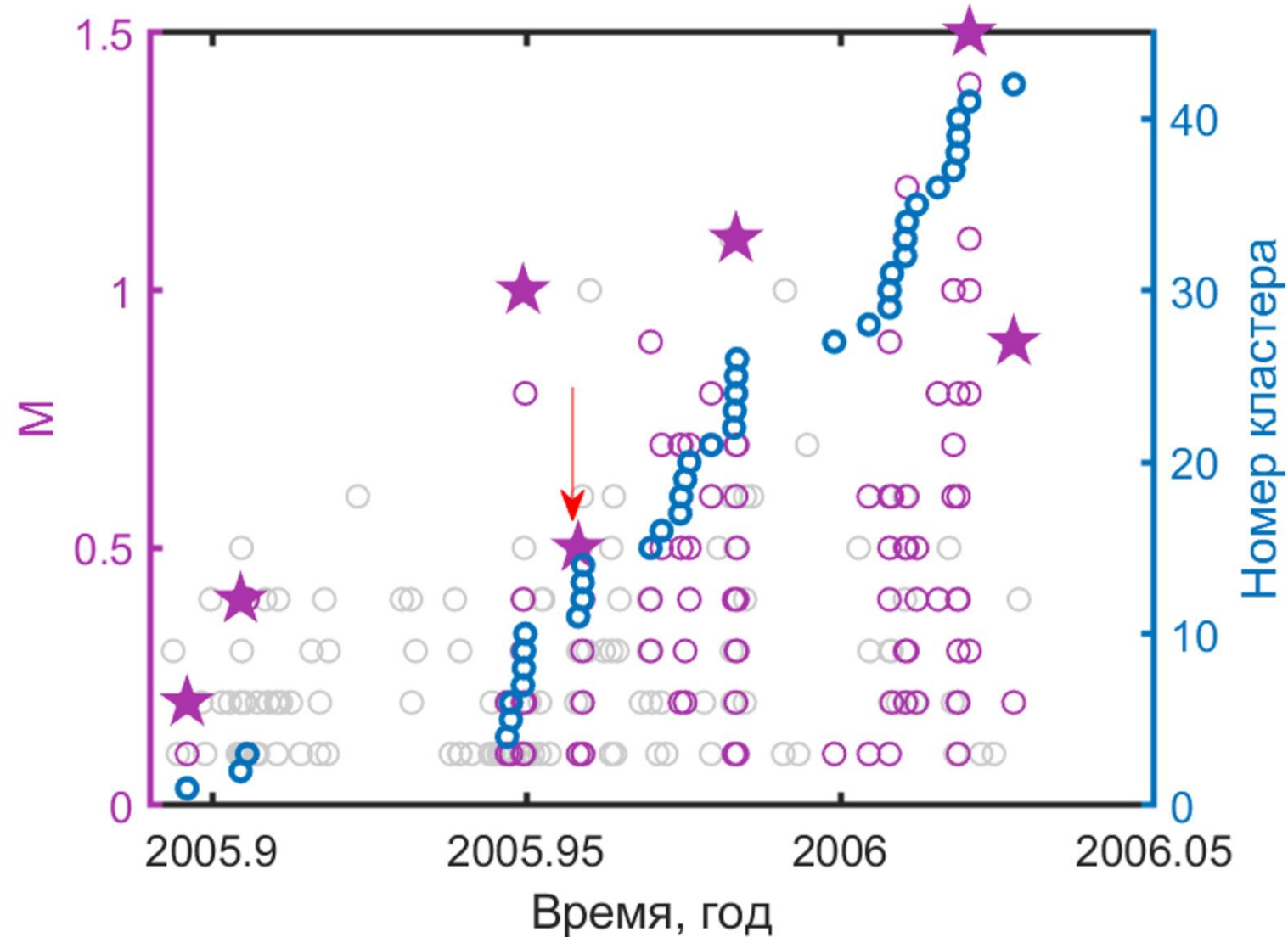
Для второй фазы (период интрузии)

Выделенные кластеры во время интрузии перед извержением вулкана Августина 2006-го года



	b	M_{max}	$\bar{M}$
Первая фаза	1.82	1	0.2766
Вторая фаза Кластеризованные	0.99	1.5	0.4401
Вторая фаза Несвязанные	1.91	1.1	0.2726

Серии кластеров во время интрузии



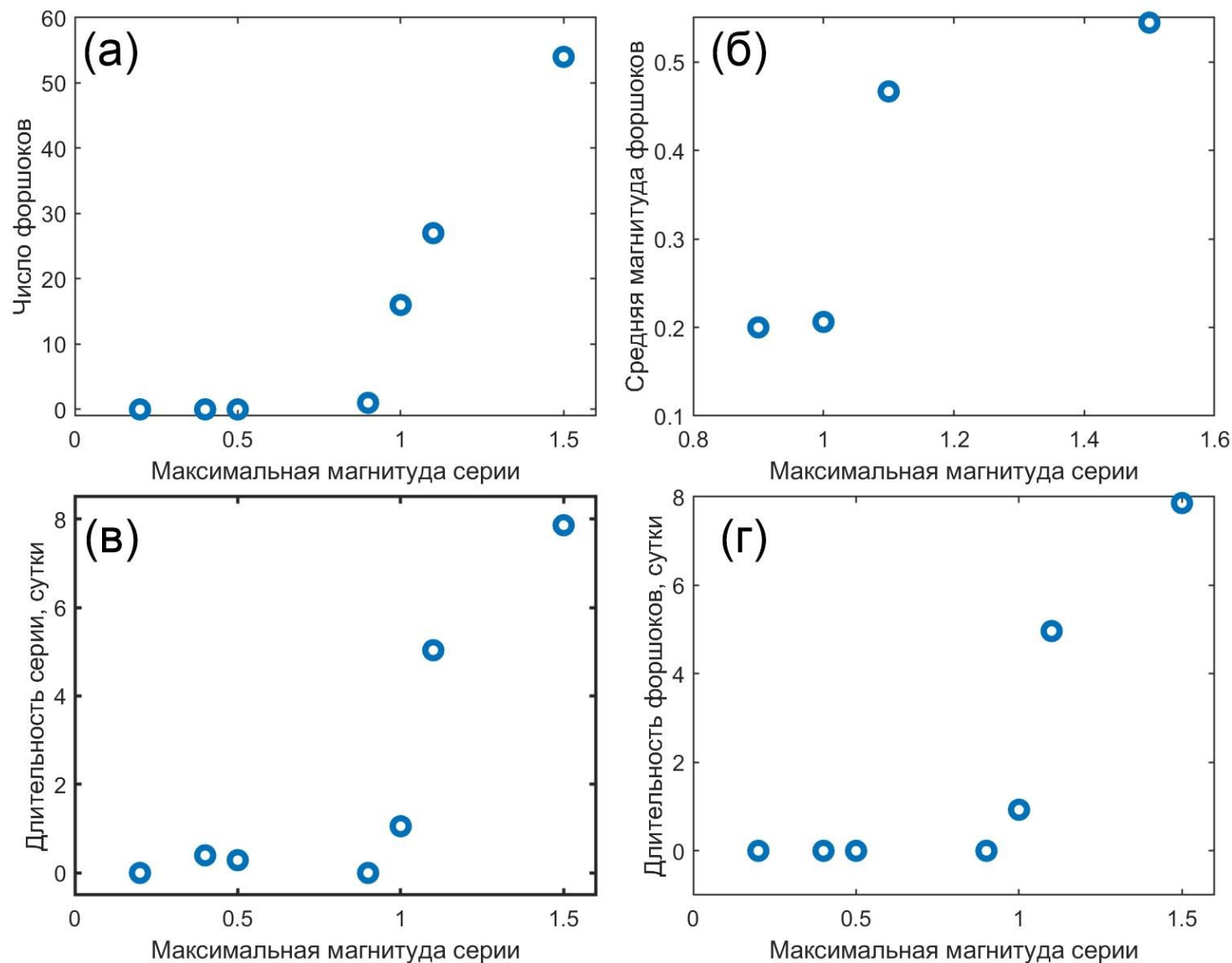
Синие кружки показывают момент времени, когда произошел кластер.

Фиолетовые кружки – события, входящие в кластер, фиолетовые звезды – сильнейшие события в сериях кластеров.

Серые кружки – события, не входящие в кластеры.

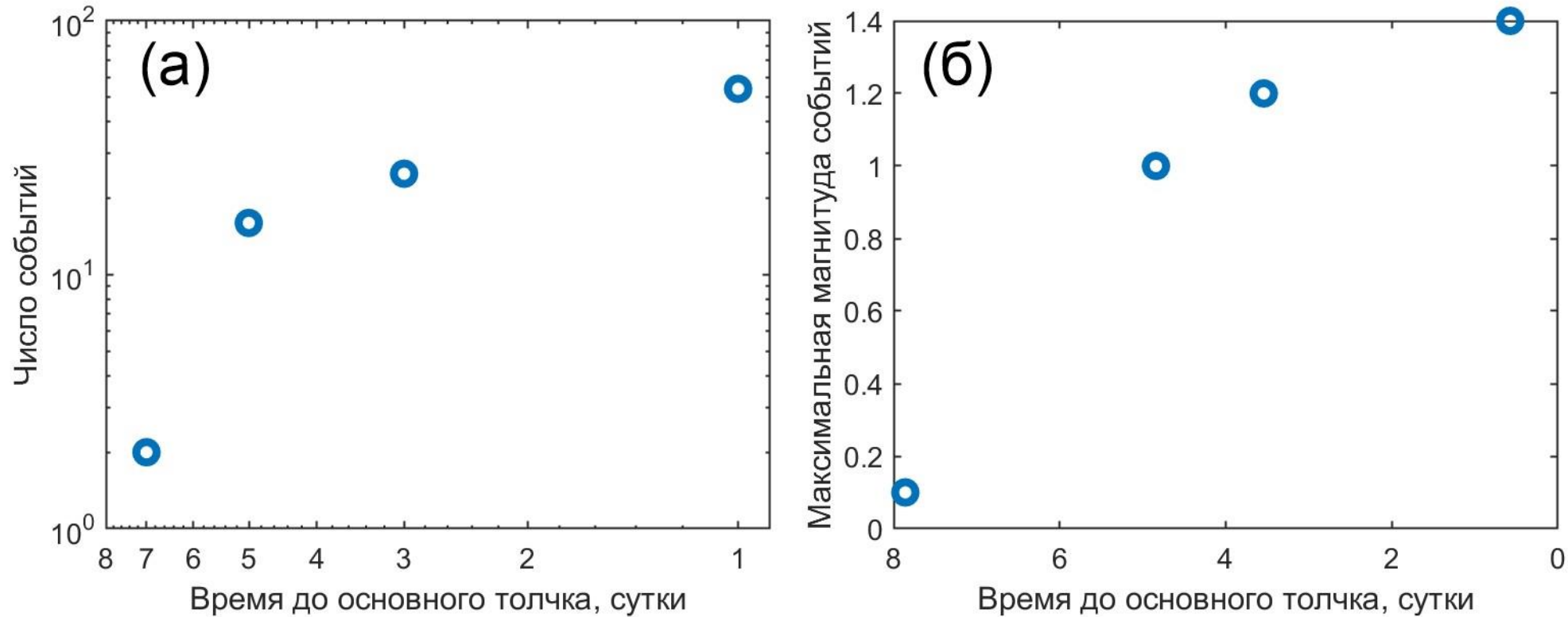
Красной стрелкой отмечена серия, выпадающая из общей закономерности.

Закономерности серий



Зависимости от магнитуды
сильнейшего события в серии:
(а) – числа форшоков серии,
(б) – средней магнитуды форшоков,
(в) – общей длительности серии (от
первого форшока до последнего
афтершока) ,
(г) – длительности форшоков (от
первого форшока до основного
толчка)

Закономерности серий



Зависимости от времени до основного толчка: (а) – числа форшоков (построено по совокупности трёх самых длинных серий), (б) – максимальной магнитуды форшоков (построено только по самой длинной серии). В обоих случаях использовалось окно шириной двое суток.

Выводы

- 1) Режим сейсмичности, предвещающий извержение вулкана Августина 2006-го года, можно разделить на две составляющие, которые наблюдаются параллельно.
- 2) Первая компонента связана с откликом на относительно глобальное повышение давления под вулканом, этот режим имеет высокое значение параметра наклона магнитудно-частотного распределения, относительно низкие магнитуды событий и в нем практически полностью отсутствует кластеризация событий.
- 3) Вторая компонента, видимо, связана с более локальным разрушением горных пород при внедрении магмы в дайку. События в этом режиме имеют более низкое значение параметра наклона магнитудно-частотного распределения, большие магнитуды, а сами события кластеризуются в серии, в большинстве случаев, оканчивающиеся сильнейшим событием с последующим затишьем.
- 4) Наложение двух режимов может частично объяснять вариации b-value, часто наблюдающиеся перед извержениями.
- 5) Серии событий в период интрузии можно интерпретировать как форшоковую активность, и подготовку макроразрушения под воздействием интенсивного внешнего источника.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- 1) *Малютин П.А.* Воздействие флюидных режимов на вариации продуктивности землетрясений по данным натурных экспериментов // Проблемы комплексного геофизического мониторинга сейсмоактивных регионов // Труды Девятой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием 24–30 сентября 2023 г. Петропавловск-Камчатский, 2023. С. 156–162.
- 2) *Zaliapin I., Ben-Zion Y.* Earthquake clusters in southern California I: Identification and stability // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2013. V. 118. P. 2847–2864, DOI: 10.1002/jgrb.50179
- 3) *Shebalin, Peter & Narteau, Clement & Baranov, Sergey.* (2020). Earthquake productivity law. *Geophysical Journal International*. 222. 1264-1269. 10.1093/gji/ggaa252.
- 4) *Baiesi, Marco & Paczuski, Maya.* (2004). Scale-free networks of earthquakes and aftershocks. *Phys. Physical review. E, Statistical, nonlinear, and soft matter physics*. 69. 066106. 10.1103/PhysRevE.69.066106.
- 5) *Баранов С.В., Жукова С.А., Корчак П.А., Шебалин П.Н.* Продуктивность техногенной сейсмичности // *Физика Земли*. 2020. С. 40-51. DOI: 10.31857/S0002333720030011.
- 6) *Маточкина С.Д., Шебалин П. Н., Смирнов В. Б., Пономарев А. В., Малютин П. А.* Параметры группирования событий акустической эмиссии в лабораторных экспериментах по разрушению горных пород // *Физика Земли*. 2024. №5.
- 7) *Jacobs K., McNutt S.* Using seismic b-values to interpret seismicity rates and physical processes during the preeruptive earthquake swarm at Augustine Volcano 2005–2006. // *US Geological Survey Professional Paper*. 2010. P. 59–75.
- 8) *Ivan Koulakov, Saleh Ismail Qaysi, Pavel Izbekov, Brandon L. Browne,* Structure of shallow magma sources beneath Augustine Volcano (Alaska) inferred from local earthquake tomography, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Volume 444, 2023, 107965, ISSN 0377-0273, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2023.107965>
- 9) *Zhan, Y., Roman, D. C., Le Mével, H., & Power, J. A.* (2022). Earthquakes indicated stress field change during the 2006 unrest of Augustine Volcano, Alaska. *Geophysical Research Letters*, 49, e2022GL097958. <https://doi.org/10.1029/2022GL097958>
- 10) *Power J.A., Friberg P.A., Haney M.M., Parker T., Stihler S.D., Dixon J.P.* A unified catalog of earthquake hypocenters and magnitudes at volcanoes in Alaska—1989 to 2018 // *U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report*. 2019, 2019–5037, 17 p., DOI: <https://doi.org/10.3133/sir20195037>. Available at: <https://pubs.usgs.gov/publication/sir20195037>