



Нечёткая теория множеств и Большие Данные в проблеме опасных природных явлений и катастроф

«Лавёровские чтения-2024»

1 февраля 2024 года

академик РАН, профессор
Алексей Джерменович ГВИШИАНИ

Природные катастрофы России

- Природные катастрофы составляют около 30% всех чрезвычайных ситуаций.

Источник: Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2022 году».

- В 2022 году в России было зарегистрировано:
78 стихийных бедствий
- Экономические потери составили:
7,2 млрд рублей
- Пострадало 134 362 человека



Природные чрезвычайные ситуации в России в 2022 г., % от общего кол-ва

Природные катастрофы в мире за 1990-2019 гг.



В 2022 г. в мире зарегистрирована **421** природная катастрофа

Экономические потери от них составили – **275** млрд \$

РБК <https://pro.rbc.ru/interest/investments>

ОПАСНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И КАТАСТРОФЫ: причины, последствия, возможности предотвращения

3

«Лавёровские чтения-2024»

Экономический ущерб от природных катастроф за период 1995-2021 гг.

Экономические потери от крупных природных катастроф, млрд \$

Землетрясение, цунами
Северо-Восток Японии, Фукусима, 2011 г.

210

Ураган Катрина
США, 2005 г.

125

Землетрясение в Кобе
Япония, 1995 г.

100

Ураган Харви
США, 2017 г.

85

Сычуаньское землетрясение
Китай, 2008 г.

85

Ураган Сэнди
США, Канада, Карибские острова, 2012 г.

68,5

Ураган Ирма
США, Карибские острова, 2012 г.

67

Ураган Ида
США, Канада, 2021 г.

65

Ураган Мария
Карибские острова, 2017 г.

63

млрд, \$

Ущерб от землетрясений в Турции 2023 года составил не менее **103,6 млрд \$**

РБК <https://pro.rbc.ru/interest/investments>

Николай Павлович Лавёров

12 января 1930 – 27 ноября 2016



Н.П. Лавёров – выдающийся учёный и государственный деятель, академик АН СССР и РАН, лидер исследований по геологии месторождений урана и других полезных ископаемых.

Заместитель Председателя Совета Министров СССР, председатель ГКНТ СССР в правительствах Н.И. Рыжкова и В.С. Павлова (1989-91), вице-президент АН СССР (1988-91) и РАН (1991-2013). Полный кавалер ордена РФ «За заслуги перед Отечеством», кавалер советских орденов Трудового Красного Знамени и «Знак Почёта».

Н.П. Лавёров внес существенный вклад в теорию и практику уменьшения ущерба от сейсмической опасности

Как вице-президент РАН он курировал исследования по общему сейсмическому районированию нашей страны. В 1988-89 гг. возглавлял научную группу Правительственной комиссии СССР по устранению последствий Спитакского землетрясения, случившегося 7 декабря 1998 г.

Под руководством Н.П. Лавёрова была создана система сейсмических наблюдений РФ, эффективно работающая сегодня с МЧС России. Для мониторинга землетрясений в РФ и сопредельных странах при его участии была развернута Геофизическая служба РАН.

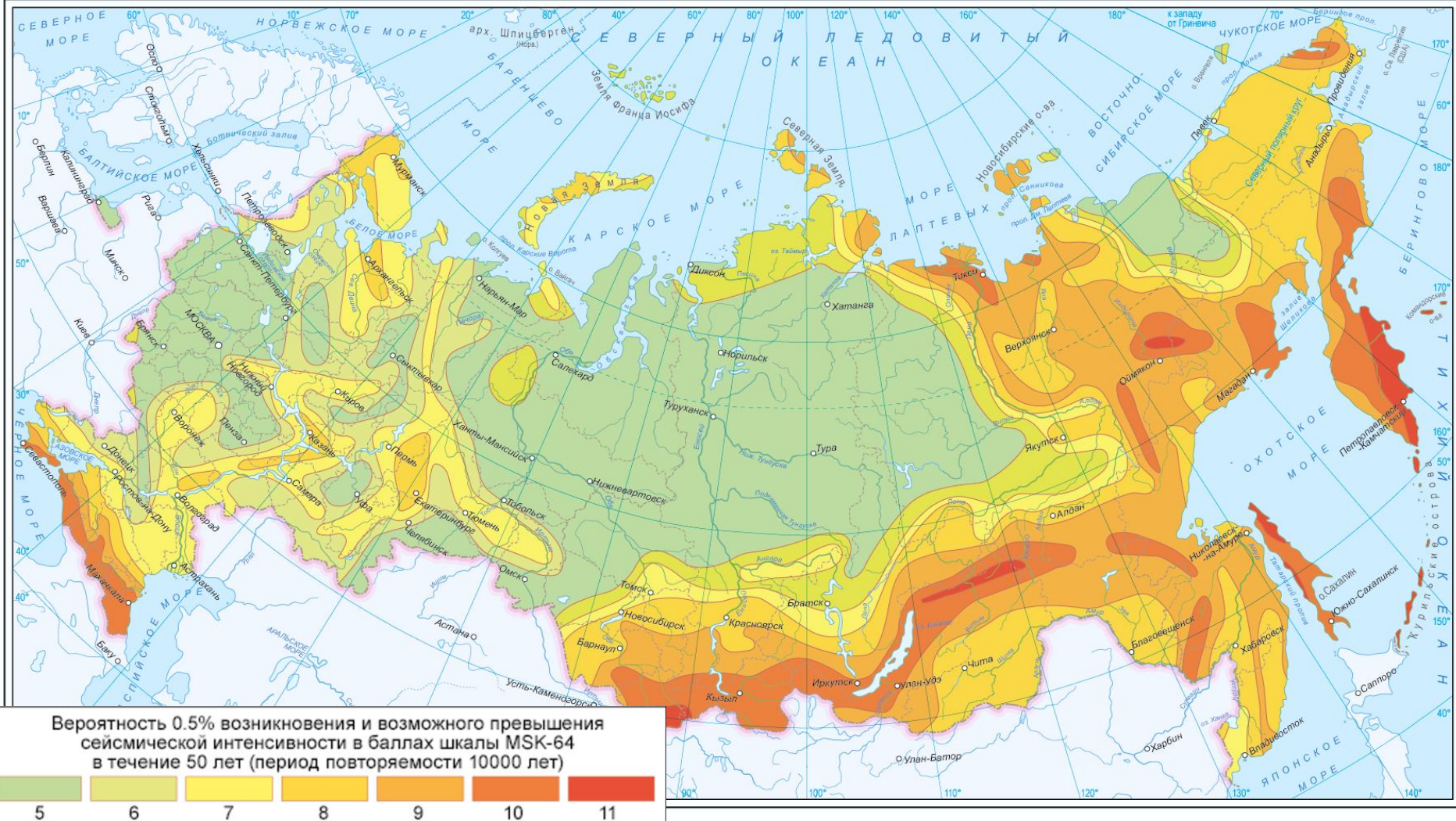
Выполняя эти задачи, Н.П. Лавёров работал с известными геофизиками, членами АН СССР и РАН М.А. Садовским, А.Э. Конторовичем, В.В. Адушкиным, А.О. Глико, Г.А. Соболевым, А.А. Маловичко и др.



академик РАН Н.П. Лавёров (на лестнице) и д.ф.-м.н. А.В. Хохлов на месте строительства павильонов магнитной обсерватории «Климовская» (Архангельская обл.), 2013 г.

Нормативная карта сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-2016

РОССИЯ. Сейсмическое районирование (MSK-64)



Сейсмическое районирование (СР). Районируемый параметр

- Интенсивность колебаний почвы в точке (x, y) от землетрясения с магнитудой M и гипоцентром в точке (X, Y, H) в момент времени t :

$$I = I(x, y, M, X, Y, H, t, \xi),$$

ξ – совокупность дополнительных аргументов.

- Значение $I \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12\}$ определяют шкалы Меркалли (1902), Медведева-Шпонхойера-Карника (1964) и Европейская макросейсмическая шкала (EMS, 1998).

Интенсивность землетрясений по 12-балльной шкале

- Шкала Медведева – Шпонхойера – Карника (**MSK-64**) определяет значение интенсивности $I = I(x, y, M, X, Y, H, t, \xi) = \{1, 2, 3 \dots 12\}$.
- **MSK-64** разработана в 1964 г. Используется в Европе и на территории бывшего СССР.
- **MSK-64** описывает наблюдаемую балльность в точке (x, y) по характеру воздействий на человека, разрушений и изменений в окружающей среде.
- Ущерб от землетрясений по **MSK-64** зависит от магнитуды, местоположения точки наблюдения, глубины очага и устойчивости строительных конструкций.

1. Не ощущается

2. Очень слабые толчки

3. Слабое

4. Умеренное

5. Довольно сильное

6. Сильное

7. Очень сильное

8. Разрушительное

9. Опустошительное

10. Уничтожающее

11. Катастрофа

12. Сильная катастрофа

Нечёткая математика

$X = \{x\}$ – классическое множество X , состоящее из элементов $x \in X$.

A – собственное подмножество X .

$\mu_A(x) : X \rightarrow [0, 1]$ – функция принадлежности, определяющая в какой мере элемент $x \in X$ принадлежит подмножеству A .

Нечёткое множество $F_x(A) = \{A, \mu_A(x)\}$.

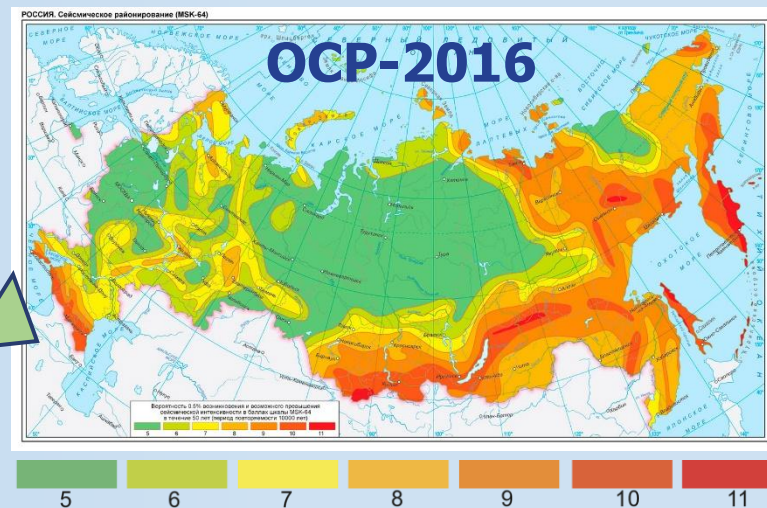
Функция $\mu_A(x)$, вообще говоря, нелинейна. Как правило, она вводится алгоритмически.

Пример:

- принадлежность участников мероприятия к РАН,
- распознавание сейсмоопасных зон.

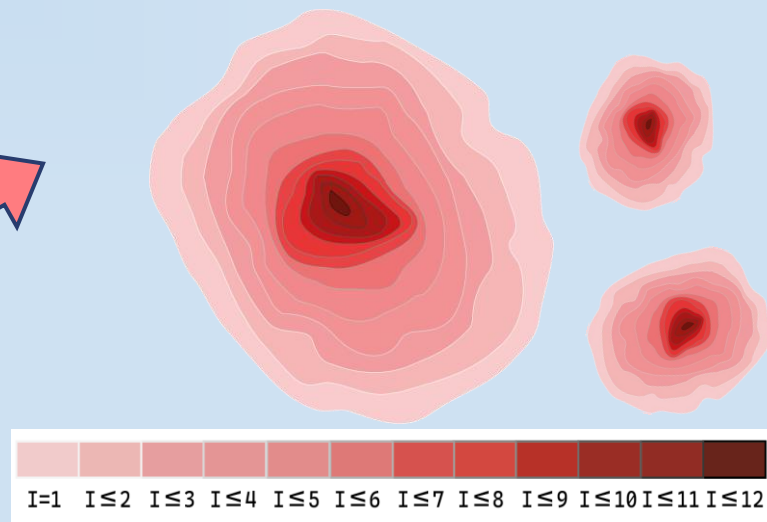
Сейсмическое районирование – актуальная нормативная база сейсмостойкого строительства

2D-карта сейсмического районирования территории X



3D множество, определяющее нечёткую балльность в точке возможного ЧС

Нечёткая функция принадлежности множеству, порождающему ЧС



Нормативная 2D-карта ОСР-2016 РФ с точки зрения теории нечётких множеств

- Районирование проводится по сейсмологическим оценкам:

$$\mathit{max} I(x, y).$$

- Выделяются 12, вообще говоря, вложенных зон возможной максимальной интенсивности:

$$S_i = \{\forall(x, y): \mathit{max} I(x, y) \geq i\}$$

$$S_{12} \subset S_{11} \subset S_{10} \subset \dots \dots \subset S_3 \subset S_2 \subset S_1.$$

- Зоны $S_{i+1} \setminus S_i$ маркируются единым цветом. Для пользователя все точки (x, y) в этой зоне оказываются равноценными. **В действительности это не так!**

Нечёткое множество FS_{12} 12-балльной зоны. Переход к 3D сейсмическому районированию

- После создания 2D-карты СР надо сделать следующий шаг. Каждую точку $(x, y) \in X$ необходимо снабдить весом, ранжирующим возможность возникновения в ней 12-балльного сотрясения. Говоря на языке нечёткой теории множеств – построить функцию принадлежности $\mu_{12}(x, y)$ к S_{12} .
- Искомая функция μ_{12} , как правило, удовлетворяет следующим краевым условиям:

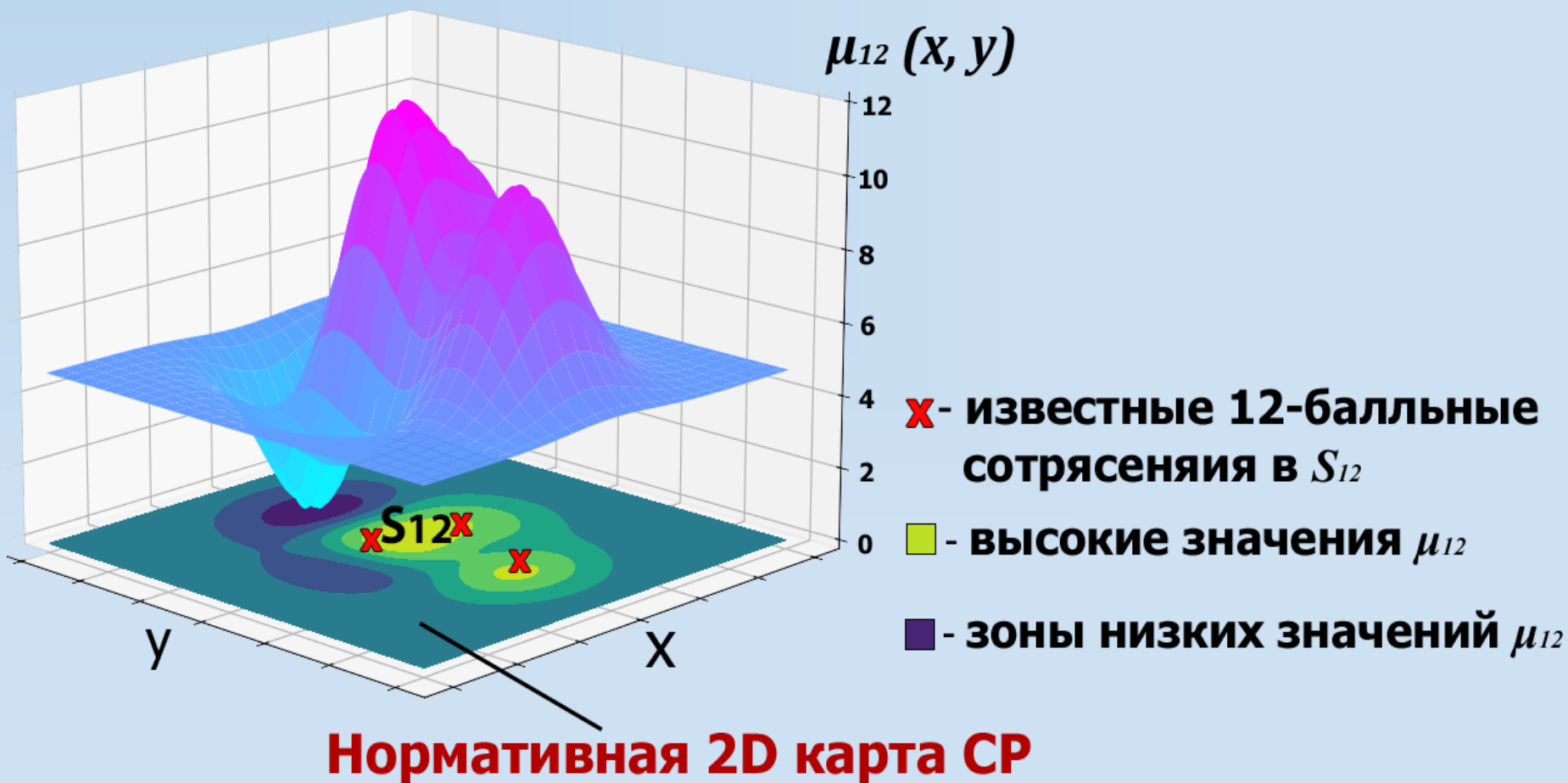
$$\forall (x, y) \in X \gg \mu_{12}(x, y) \leq 12$$

$$\forall (x, y) \in S_{12}; \forall (u, v) \in X \setminus S_{12} \gg \mu_{12}(x, y) \geq \mu_{12}(u, v)$$

Моделирование функции принадлежности μ_{12} для 3D 12-балльной зоны

- **12-балльная зона районирования** **есть** **3D нечёткое множество** **сейсмического**
 $FS_{12} = \{X, \mu_{12}\}$.
- **3D множество** FS_{12} **есть фрагмент 3D-ОСР-карты** X . Фрагмент может быть смоделирован мониторингом статистических трендов и зависимостей **Больших Данных (Бод)**.
- Построить модель μ_{12} помогут **Бод**, насыщаемые разнообразной информацией, относящейся к определению максимальной сотрясаемости.

12-балльная зона 3D сейсмического районирования – нечёткого множества $FS_{12} = \{X, \mu_{12}\}$



Большие Данные. Критерии

- **Большие Данные** — это разнообразные данные, которые поступают с растущей скоростью и объемом.
- **Бод** характеризуются **ОСНОВНЫМ** критерием **3V**. Имеют большие значения и постоянно растут:
 - Volume** (объем),
 - Velocity** (скорость),
 - Variety** (разнообразие).
- *Дополнительные критерии:*
 - Value** (ценность),
 - Appropriacy** (уместность),
 - Variability** (вариативность, возможность стать разнообразными со временем).



Источники Больших Данных для моделирования μ_{12} 3D-карты FS_{12} (1)

Геофизические данные

Сейсмологическая информация (историческая и оперативная)

Геологические, геодинамические, тектонические, геоморфологические

Мониторинг вулканической активности

Мониторинг оползней и обвалов, в некоторых регионах – снежных лавин

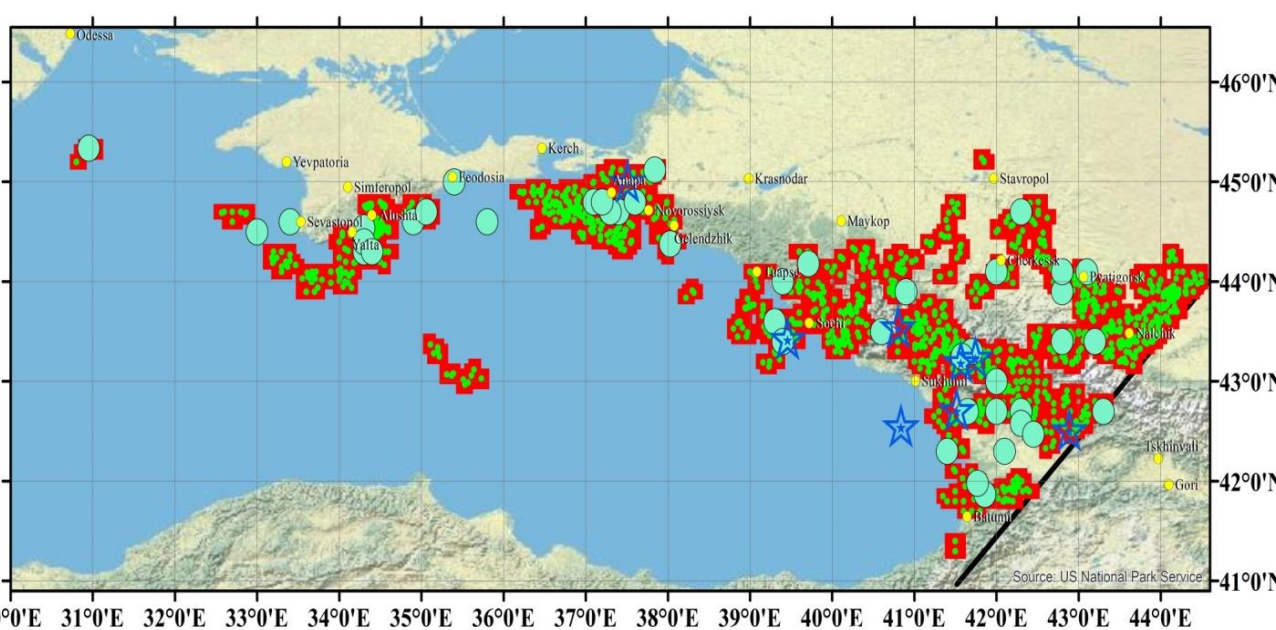
Распознавание мест возможного возникновения сильных землетрясений и мониторинг проявления их активности

Дистанционное зондирование Земли из космоса

Источники Больших Данных для моделирования μ_{12} 3D-карты FS_{12} (2)

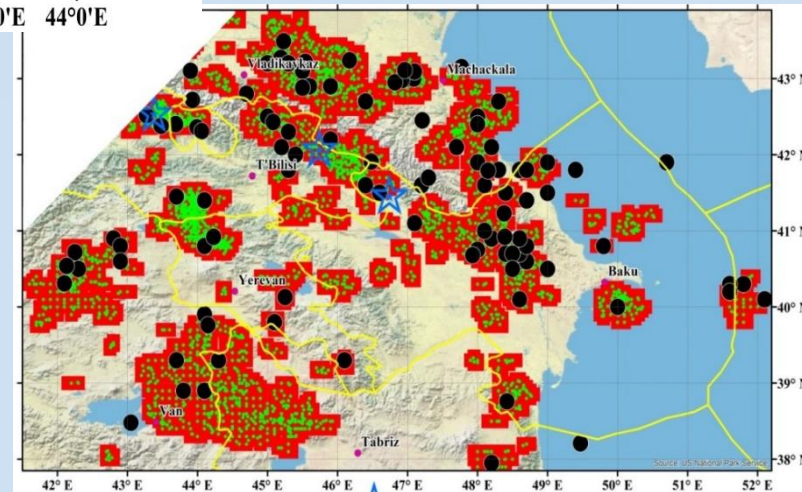
Строительные данные	Информация о материалах, видах, классификации и развития строительства	Данные об опасных производствах и объектах особой важности
	Информация о строительстве новых и эксплуатации существующих транспортных магистралей и узлов, аэропортов, морских и речных портов	Мониторинг строительства, в т. ч. данные о возведении новых зданий, сооружений и антисейсмическом укреплении объектов
	Данные мониторинга прокладки и планирования трубопроводов и электросетей	Данные мониторинга состояния плотин и гидроэлектростанций

FCAZ-распознавание мест возможного возникновения значительных землетрясений на Кавказе и в Крыму [Dzeboev et al., 2021]



- ● FCAZ-зоны
- $M \geq 5$ (650-2008)
- $M \geq 4\frac{1}{2}$
- ★ $M \geq 4\frac{1}{2}$, с 2008 г.
(рисунок слева)
- ★ $M \geq 5$ (2009-2013)
(рисунок снизу)

Распознавание выполнено в
2014 г. и 2016 г.



Горные страны мира, где было выполнено распознавание высокосейсмичных зон для сильнейших, сильных и значительных землетрясений

Методом FCAZ:

- Анды Южной Америки, Тихоокеанское побережье полуострова Камчатка, Калифорния, регион Прибайкалье-Забайкалье, регион Алтай-Саяны, восточный сектор АЗРФ, Кавказ, Крымский полуостров.

Методом ERA:

- Памир и Тянь-Шань, Балканы, Калифорния и Невада, Апеннины и Сицилия, Анды, Камчатка, Западные Альпы, Пиренеи, Гималаи, Карпаты, Динариды, Альбор, Эквадор, Иберийская плита, Северный Вьетнам, Центральный Французский массив, Кавказский регион, Северо-Западный Египет, Крым, Южная Сибирь.

Достоверность опасных зон подтверждена контрольными экспериментами и локациями сильных землетрясений, произошедших после выполнения распознавания (около 86%).

Технологическое создание Бод



Пожары, где прослеживаются аналогии с землетрясениями по возникновению чрезвычайных ситуаций

Пожары, которые могут возникать без внешних вмешательств:

1. Лесные пожары;
2. Торфяные пожары;
3. Травяные пожары;
4. Переполнение свалок;
5. Угольные, сланцевые отвалы;
6. Другие природные пожары.

Классификация пожаров по сложности определяет состав сил и средств, необходимых для их тушения. Классификация пожаров характеризует силу их воздействия на окружающую среду. **Воздействие пожара может рассматриваться как аналог сейсмической интенсивности при построении нечёткого множества.**

Анализ обстановки с пожарами на территории РФ на поднадзорных объектах за 2022 г.

