

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЦЕНАРИЕВ РЕАГИРОВАНИЯ СПАСАТЕЛЬНЫХ СЛУЖБ ПРИ ВУЛКАНИЧЕСКОМ ИЗВЕРЖЕНИИ

Ф.Т. Алескеров

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Российская Федерация, 109028, Москва, Покровский бульвар, 11
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Российская Федерация, 117997, Москва ул. Профсоюзная, 65
E-mail: alesk@ipu.ru

Д.А. Кобец

Институт космических исследований РАН
Российская Федерация, Москва, ул. Профсоюзная, 84/32
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Российская Федерация, 109028, Москва, Покровский бульвар, 11
E-mail: dakobets@edu.hse.ru

П.П. Хачикян

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Российская Федерация, 109028, Москва, Покровский бульвар, 11
E-mail: pkhachikyan@hse.ru

Ключевые слова: вулканическая активность, извержение вулкана, глубокая неопределённость, имитационная модель, чрезвычайные ситуации, спасательные службы.

Аннотация: Рассматриваются проблемы смягчения последствий чрезвычайных ситуаций природного характера, связанных с вулканическими извержениями, как специфические задачи в поле глубокой неопределённости. Анализируются последствия извержений. Определены причинно-следственные связи и основные последствия поражающих факторов извержения вулканов. Представлена сценарная модель реагирования спасательных служб. Предложен сценарий выпадения тефры (пепла) для использования в качестве инструмента принятия решений при планировании действий спасательных служб.

1. Введение

Чрезвычайные ситуации (ЧС) природного характера происходят с достаточной частотой и оказывают значительное влияние на жизни и судьбы жителей нашей планеты. Вулканическая активность может стать причиной массовых жертв и разрушений на больших территориях, находящихся даже на значительном удалении от вулканов. Согласно статистике Смитсоновского института США [1], ежегодно в мире фиксируются извержения нескольких десятков вулканов различной интенсивности. Архив глобальной вулканической программы [1] уже зафиксировал 7 извержений, классифицируемых как особо крупные [2,3], последнее из которых произошло в 2022 году на острове Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай [4] в архипелаге Тонга в Тихом океане (VEI

5; выбросы порядка 10 км³ тефры). В результате извержения была уничтожена треть острова, пепел поднялся на высоту 20 км, а образовавшаяся цунами проникла на 200 м вглубь островов, располагавшихся в 70 км от эпицентра.

2. Имитационная модель вулканического извержения

Несмотря на то, что предсказание места, времени и интенсивности следующего вулканического извержения находится в поле глубокой неопределённости и не может быть с достаточной вероятностью спрогнозировано, уже сейчас существует возможность моделировать отдельные поражающие факторы извержения [5-8] в целях возможного смягчения последствий извержений. Учитывая причинно-следственные взаимосвязи между факторами, их воздействие на окружающую среду возможно свести к четырем типам. Это также позволяет определить последствия и связать их с мерами реагирования спасательных служб (рис. 1).

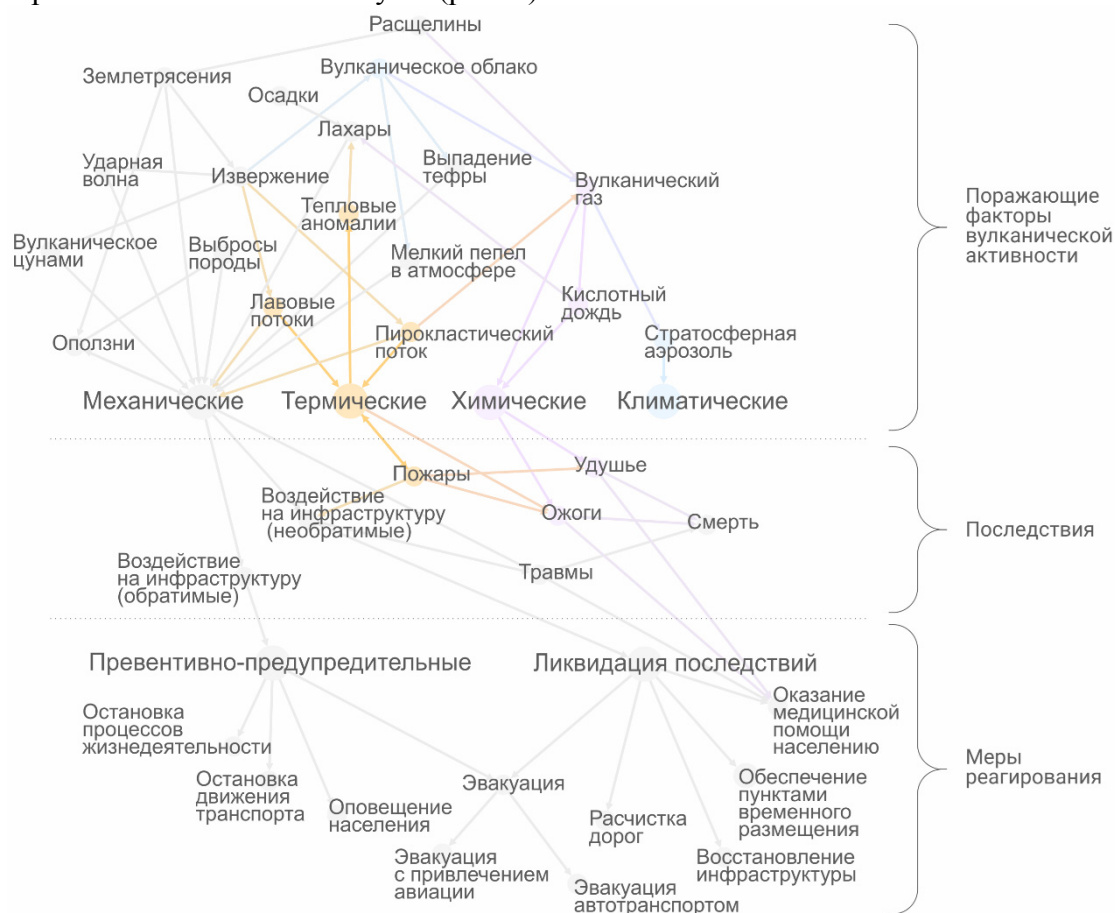


Рис. 1. Граф причинно-следственных связей поражающих факторов, сведенных к четырем видам воздействий (механическому, химическому, термическому и климатическому). Последствия и меры реагирования спасательных служб.

Математические модели и взаимосвязи между поражающими факторами положены в основу имитационной модели вулканического извержения. На вход имитационной модели подаются начальные значения характеристик окружающей среды (сила и направление ветра, высоты рельефа, показатели влажности и т.п.) и факторов моделируемого вулканического извержения (место взрыва, мощность, количество выброшенной тефры и т.п.) в момент времени t_0 . Имитационная модель определяет изменение влияния факторов, рассчитывая значение их характеристик в следующий

момент времени t_1 , t_2 и так далее. В ходе моделирования состав факторов может быть скорректирован (одни факторы сохраняют своё действие, вторые становятся причиной возникновения других, а третьи угасают и больше не оказывают никакого воздействия). На основе спрогнозированных характеристик в момент времени t_r , рассчитываются пространственные распределения непрерывных диапазонов интенсивностей механического (M), химического (X), термического (T) и климатического (K) воздействий поражающих факторов на окружающую среду и объекты, находящиеся в ней, а также принимаются заданные меры реагирования соответствующих служб и органов власти в рамках единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС).

3. Сценарный подход решения задачи реагирования спасательных служб на случай извержения вулкана

Сценарный подход позволяет представить решение задачи реагирования спасательных служб с помощью модели принятия решений, которая включает в себя ряд действий, основанных на системном сборе и обработке данных (рис. 2).

Рассмотрим далее сценарий выпадения тефры (пепла) на сеть транспортных путей вблизи вулканов «Корякский» (извергался в 2009 г.) и «Авачинский» (извергался в 2001 г.), расположенных вблизи административного города Петропавловска-Камчатского (Российская Федерация).

Данные о месторасположении и характеристиках транспортных путей, были взяты из некоммерческого картографического проекта OpenStreetMap [9]. Из загруженных в базу данных векторных слоёв были выбраны (таб. 1) транспортные пути, находящиеся на расстоянии не более 50 км от действующих вулканов «Корякский» и «Авачинский» (см. таб. 1). Пути были классифицированы по двум параметрам: а) могут быть использованы автомобильным транспортом (а/т); б) не могут быть использованы автомобильным транспортом (а/т). При анализе выбранных транспортных путей (I-IV) было выявлено отсутствие информации о типах покрытий большинства (IV) из них (таб. 1).

Таблица 1. Протяженность автомобильных и пешеходных путей с различным покрытием, находящихся на расстоянии не более 50 км от вулканов «Корякский» и «Авачинский».

Типы и характеристики покрытия	Протяженность автомобильных и пешеходных путей, км	
	а) могут быть использованы а/т	б) не могут быть использованы а/т
I. С твердым покрытием (асфальт, бетон, мощенные, искусственная трава, утрамбованные песочно-гравийной смесью)	548	33
II. Гравийные	136	0
III. Грунтовые (голая земля, грязь, трава, песок, дерево)	424	19
IV. С неустановленным покрытием	3245	343

Полная версия работы также содержит данные об использовании параметров скорости и направления ветра, что позволяет производить моделирование выпадения тефры на конкретные транспортные пути, тем самым выявляя наиболее подверженные воздействию вулкана участки. Согласно полученным сведениям о моделировании выпадения тефры (в том числе толщина выпавшего слоя), спасательные службы разрабатывают планы мероприятий по эвакуации населения, ликвидации последствий, очистке территорий и уборке дорог.

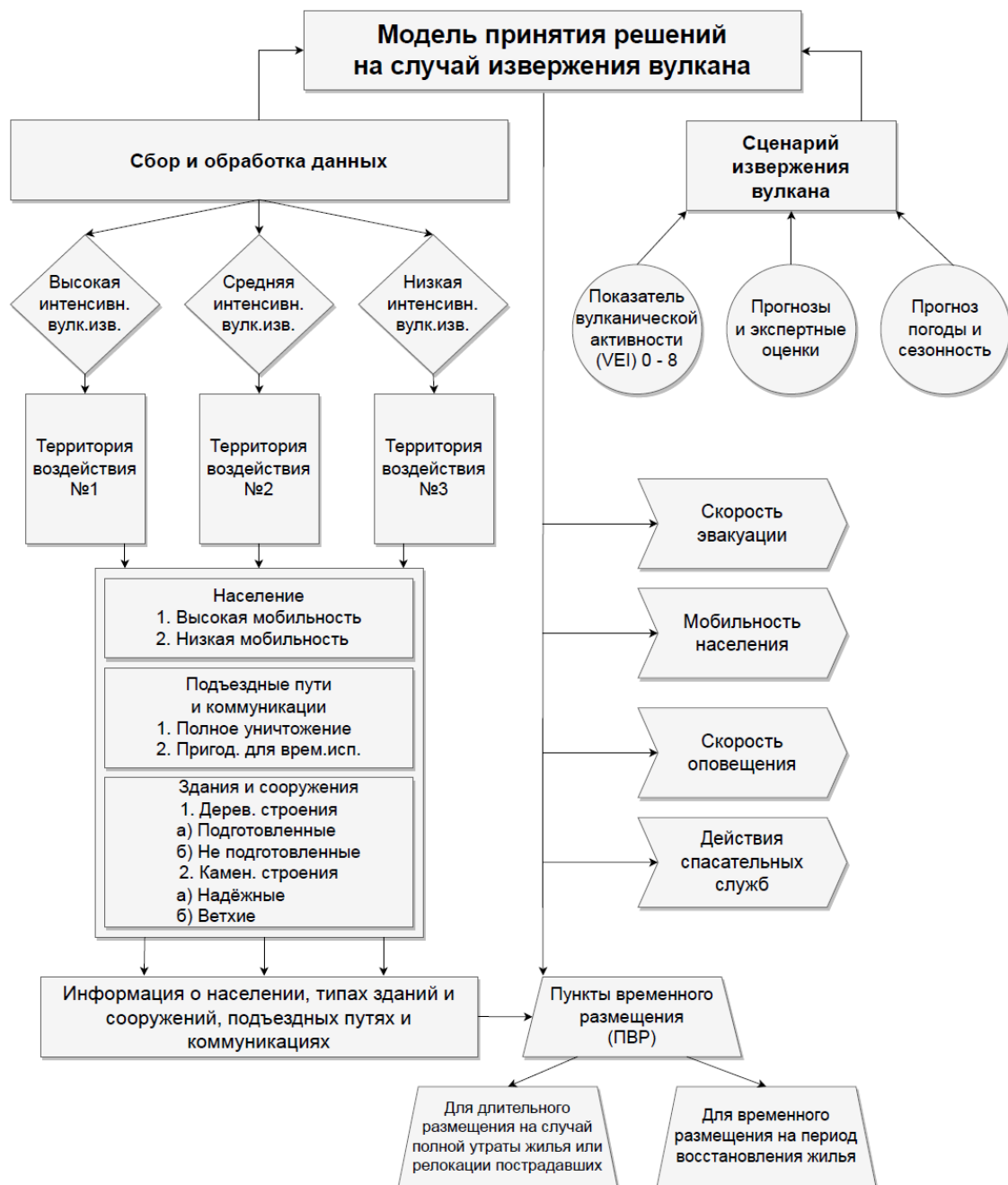


Рис. 2. Модель принятия решений на случай извержения вулкана.

4. Обсуждение и результаты

Разработанная имитационная модель извержения позволяет предусматривать различные сценарии действий спасательных служб с учетом временных интервалов, учитывая поражающие факторы вулканической активности.

Сценарный подход позволяет рассматривать задачу реагирования действий спасательных служб в многокритериальном формате, учитывая заданные параметры, используя как существующие базы данных для заблаговременной подготовки, так и информацию от профильных специалистов в области вулканологии и мониторинга окружающей среды, данных визуальных и инструментальных наблюдений. Модель принятия решений на случай извержения вулкана позволяет заблаговременно

разработать множество сценариев развития событий, от качества сбора и обработки первоначальных данных которых зависит эффективности мер, предпринимаемых спасательными службами и органами власти.

5. Заключение

Несмотря на наличие современных технических средств и развитого аппарата систем мониторинга как с земли, так из космоса, природа, частота, причины и время возникновения природных катаклизмов не могут быть спрогнозированы с достаточной точностью, что относит такие события к задачам в поле глубокой неопределённости. Смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного характера непосредственно связано с масштабом их распространения, который также не всегда может быть заранее определён, что не позволяет вырабатывать универсальные методы решения таких задач, однако допускает возможность применения сценарного подхода для разработки наибольшего числа возможных вариантов развития событий. Приведенные материалы демонстрируют применение сценарного подхода в разработке моделей реагирования спасательных служб на случай вулканического извержения, что позволяет заблаговременно подготовиться к возможным последствиям извержения, повысить качество плано-предупредительных мер, результативность эвакуации, снизить число пострадавших среди населения и материальные потери.

Предлагаемые модели и сценарный подход представляется возможным использовать для развития функционирования существующей в Российской Федерации единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС).

Работа была поддержана проектом «Исследование моделей и методов принятия решений в условиях глубокой неопределенности: предупреждение природных угроз и логистических проблем», выполненного в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2023 году.

Список литературы

1. Global Volcanism Program (Eruptions), <https://volcano.si.edu/faq/index.cfm?question=eruptionsbyyear> (дата обращения 08.09.2023).
2. Sizes of Volcanic Eruptions, 2015 // The Encyclopedia of Volcanoes. Elsevier. 263 p.
3. Pinatubo eruption, 1991, <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=273083> (дата обращения 10.09.2023).
4. Hunga Tonga-Hunga Ha'apai eruption, 2022, <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=243040> (дата обращения 10.09.2023).
5. Schilling S.P., 1998. LAHARZ; GIS programs for automated mapping of lahar-inundation hazard zones // US Geological Survey; Information Services [distributor].
6. Barca D., Crisci G., Di Gregorio S., Nicoletta F. Cellular automata methods for modeling lava flows: simulation of the 1986–1987 eruption // Mount Etna, Sicily. Active lavas: monitoring and modeling, 1993. P. 291-303.
7. Sheridan M.F. Emplacement of pyroclastic flows: A review // Ash flow tuffs: Geological Society of America. 1979. Special Paper 180. P. 125-136.
8. Hayward M.W., Whittaker C.N., Lane E.M., Power W.L., Popinet S., White J.D. Multilayer modeling of waves generated by explosive subaqueous volcanism // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2022. Vol. 22. P. 617-637.
9. OpenStreetMap, <https://www.openstreetmap.org/> (дата обращения 10.12.2023).