

**Магматическая активность Мутновского вулкана в 2022 г. по сейсмическим и газогидрохимическим данным**

**Поляков А.Ю., Кирюхин А.В.**

**Magmatic activity of Mutnovsky volcano in 2022 according to seismic and gas-hydrochemical data**

**Polyakov A.Yu., Kiryukhin A.V.**

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;*

*e-mail: pol@kscnet.ru*

Измерения парциального давления на конденсаторе пара Мутновской ГеоЭС используются в качестве индикатора разгрузки магматических газов через систему магмофраксинга вулканической системы в продуктивный геотермальный резервуар. Наблюдается корреляция этих данных с инъекцией даек в окрестности Мутновского вулкана.

**Введение**

Инъекция магмы синхронизирована с притоком магматического  $\text{CO}_2$  в продуктивные геотермальные резервуары, что фиксируется изменением парциального давления неконденсированного газа на конденсаторе Мутновской ГеоЭС. Непрерывные измерения начаты в 2019 г. для прогноза активности Мутновского вулкана и сильных землетрясений.

**Магматическая активность Мутновского вулкана в 2022 г.**

Генерация электрической энергии на Мутновской ГеоЭС осуществляется посредством двух турбин по 25 МВт каждая, питание турбин осуществляют геотермальные скважины 24, А2, Гео-3, О29W, О16, ГК1, О42, О13, О17, О37, Гео-2 через два сепаратора. Измерение газосодержания в общем паре Мутновской ГеоЭС позволяет проводить отслеживание дополнительного притока магматического газа, синхронизированного с инъекциями магмы [2-4]. Нами используется методика измерения парциального давления неконденсирующихся газов ( $P_{\text{NCG}}$ ) в конденсаторе турбины ГеоЭС [5].

Пять сейсмических станций регистрируют сейсмичность в Мутновско-Гореловской вулканической зоне (MTV, GRL, ASA, RUS, PET). Выделение даек и силлов выполнялось по каталогам микроземлетрясений (MEQ) КФ ФИЦ ЕГС РАН с использованием программы Frac-Digger [1, 3, 5] (критерий выборки:  $\delta_t = 30$  дней,  $\delta_R = 6$  км,  $\delta_Z = 1$  км,  $N = 6$ ).

С января по декабрь 2022 г. в Мутновском геотермальном районе зарегистрировано 116 землетрясений, 55 % из них составляют 9 плоско-ориентированных кластеров, интерпретированных как внедрение даек, большая часть которых фиксируется в северо-восточном секторе вулкана Мутновский.

На рис. 1 сопоставлены данные парциального давления  $P_{\text{NCG}}$  в конденсаторе турбины с временной последовательностью инъекций даек вблизи вулкана Мутновский, обнаруженных в результате обработки сейсмических данных КФ ФИЦ ЕГС РАН с использованием программы Frac-Digger. На рис. 1 видно, что имеются внедрения даек, следующие за выбросами  $P_{\text{NCG}}$  или близко синхронизированные с ними.

На рис. 2 и рис. 3. приведены пространственные характеристики дайкового комплекса в виде следов на горизонтальных сечениях и в виде двумерных выпуклых многоугольников в трехмерном пространстве, соответственно. Численные характеристики плоскостей аппроксимации плоско-ориентированных кластеров микроземлетрясений приведены в таблице.

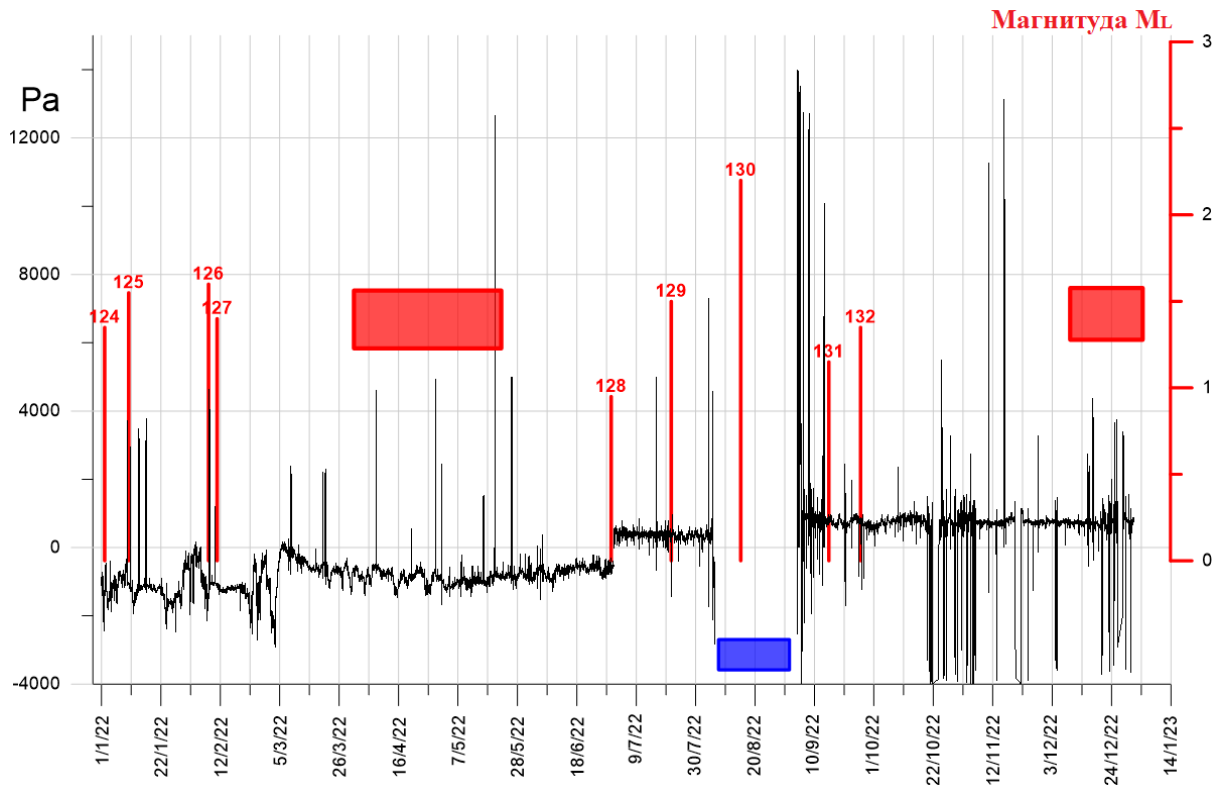


Рис. 1. Изменение  $P_{NCG}$  (Па) в конденсаторе турбины Мутновской ГеоЭС (2022 г.) и время начала внедрения дайки в продуктивный резервуар. Номер дайки соответствует (таблица, рис. 2, 3),  $M_L$  – максимальная магнитуда сейсмических событий, красные прямоугольники – период отсутствия сейсмических данных, синий прямоугольник – период отсутствия данных по давлению.

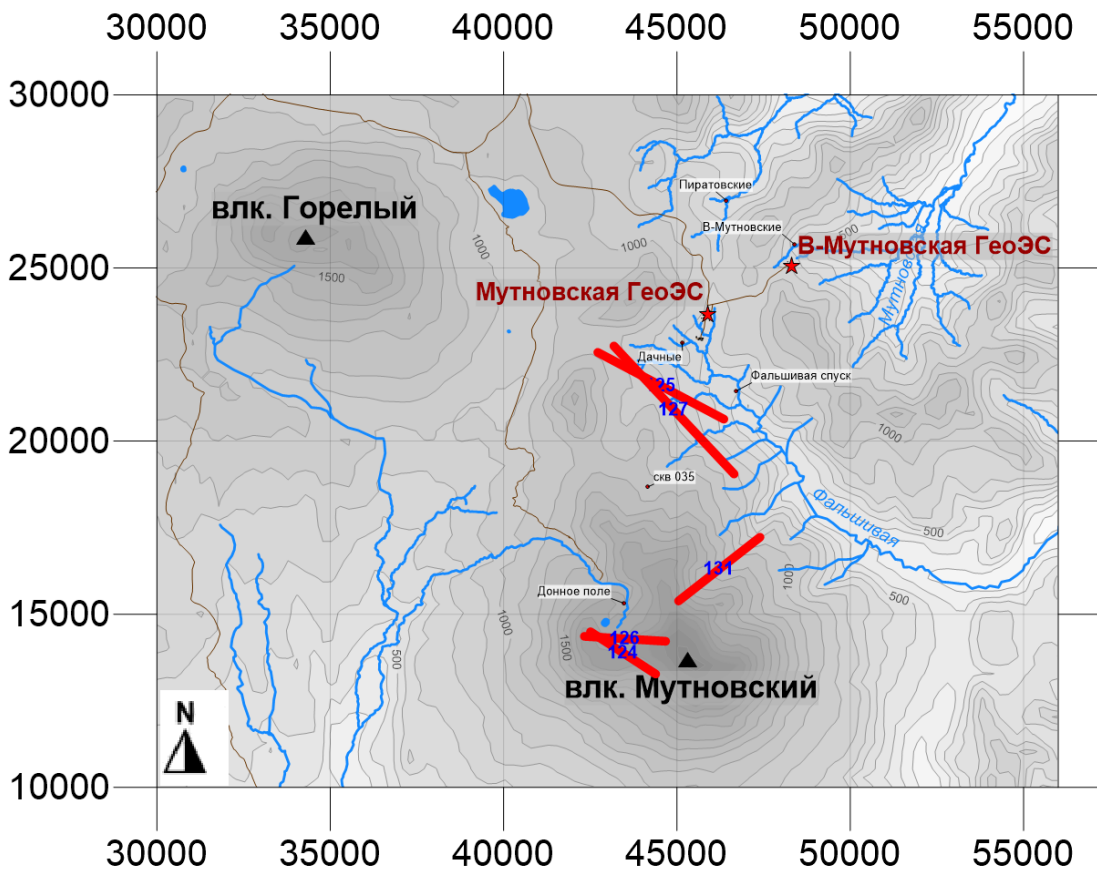


Рис. 2. Следы плоскостей кластеров на горизонтальной поверхности (глубина 3 км).

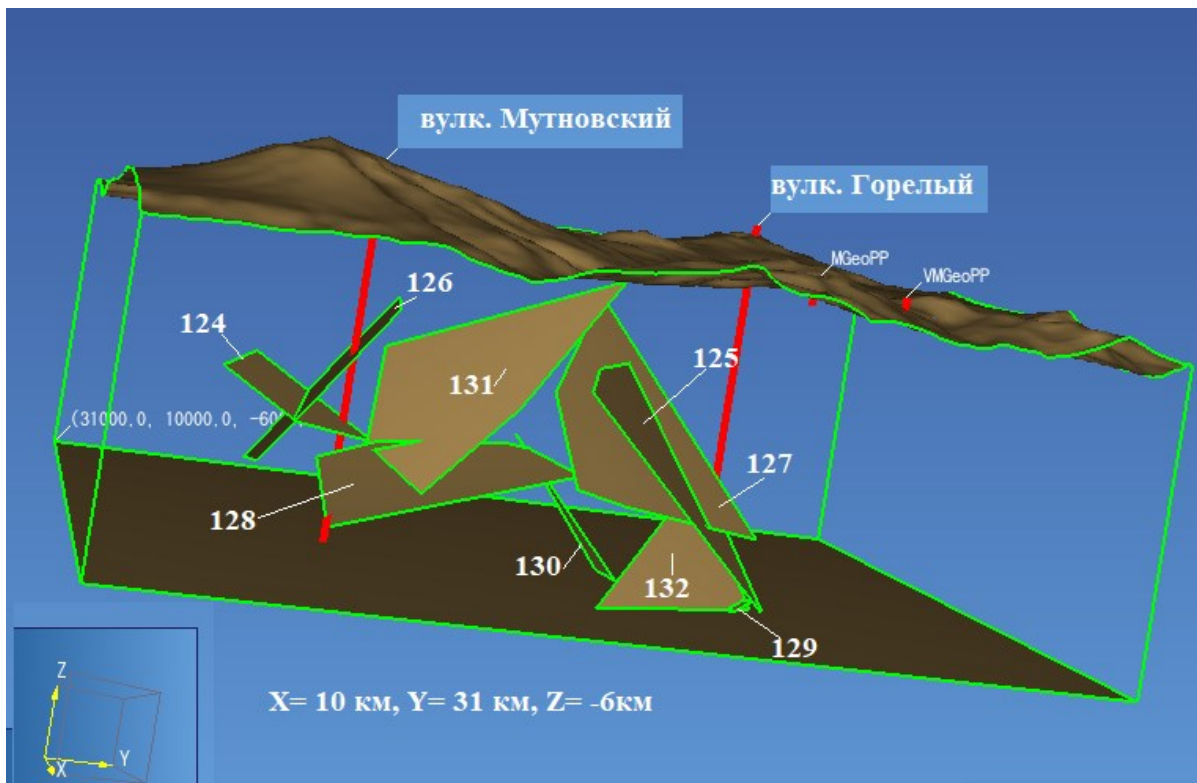


Рис. 3. Геометрия инъекций магмы под Мутновским вулканом по сейсмическим данным КФ ФИЦ ЕГС РАН за период январь-декабрь 2022 г., цифрами указаны номера даек (см. рис. 1, 2, таблица).

Таблица. Характеристики плоскостей аппроксимации плоско-ориентированных кластеров микроземлетрясений (МЕQ), интерпретируемых как дайки и силлы, изображенные на рис. 1, 2, 3

Кластер №	Угол падения (градус)	Азимут падения (градус)	X, м	Y, м	Z, м	Дата	$M_L$	Число событий	Площадь, км <sup>2</sup>
124	30.8	33	43622	13730	-2981	02.01.22	1.35	6	5.2
125	50.5	27.9	44648	21235	-2674	10.01.22	1.55	7	18.3
126	51.1	183.5	43367	14446	-2818	07.02.22	1.6	6	9.7
127	48.7	46.9	45006	20511	-2773	10.02.22	1.4	6	20.6
128	30.1	263.9	45490	17106	-3761	30.06.22	0.95	7	14.8
129	15.2	151.4	44840	22783	-6018	21.07.22	1.5	10	6.6
130	54.9	354.5	42911	21442	-6165	14.08.22	2.2	6	3.9
131	50.7	141.9	45893	16515	-2550	15.09.22	1.15	10	14.8
132	42.8	62.4	45208	22491	-5493	26.09.22	1.35	6	9.3

Примечание 1:  $M_L = K_s \times 0.5 - 0.75$ .

Примечание 2: Выпуклые 2D-полигоны были получены из плоскостей аппроксимации плоско-ориентированных кластеров гипоцентров МЕQ. Для этого программа Frac-Digger наносит проекции гипоцентров МЕQ на плоскость аппроксимации, затем ищет выпуклый многоугольник, включающий точки проекций.

### Выводы

На основании данных технологических измерений филиала «Возобновляемая энергия» ПАО Камчатскэнерго (01.01.2022-31.12.2022) наблюдается связь между значимыми аномалиями парциального давления неконденсированного газа (PNCG) в конденсаторе турбины геотермальной электростанции и магматическими инъекциями.

Магматическая активность вулкана Мутновский, выявленная по сейсмическим данным, проявлена в виде инъекций пологих даек в северо-восточном секторе вулкана.

Авторы выражают признательность директору филиала ПАО Камчатскэнерго «Возобновляемая энергетика» А.А. Любину, начальнику Мутновских ГеоЭС М.Л. Безотечество и ведущему инженеру О.В. Колесникову за предоставление данных по давлению и температуре в конденсаторе Мутновской ГеоЭС.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00127, <https://rscf.ru/project/23-27-00127/>.

### Список литературы

1. *Кирюхин А.В.* Геотермофлюидомеханика гидротермальных, вулканических и углеводородных систем. Санкт-Петербург: ООО «Эко-Вектор Ай-Пи», 2020. 431 с.
2. *Поляков А.Ю.* Удаленный мониторинг динамики поступления магматического газа в геотермальный резервуар на базе станции НОВО RX 3000 // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Геотермальная вулканология, гидрогеология, геология нефти и газа» (Geothermal Volcanology Workshop 2020), 3-8 сентября 2020 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2020. С. 90-93.
3. *Kiryukhin A.V., Polyakov A.Yu., Usacheva O.O. et al.* Thermal-permeability structure and recharge conditions of the Mutnovsky high-temperature geothermal field (Kamchatka, Russia) // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2018. V. 356. P. 36-55. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.02.010>
4. *Kiryukhin A., Chernykh E., Polyakov A. et al.* Magma fracking beneath active volcanoes based on seismic data and hydrothermal activity observations // Geosciences. 2020. V. 10. № 52. P. 1-16. <https://doi.org/10.3390/geosciences10020052>
5. *Kiryukhin A.V., Polyakov A.Yu., Voronin P.O. et al.* Magma fracking and production reservoirs beneath and adjacent to Mutnovsky volcano based on seismic data and hydrothermal activity // Geothermics. 2022. V. 105. Art. 102474. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2022.102474>