

Магматическая активность Мутновского вулкана в 2009-2024 г.

А.Ю. Поляков, А.В. Кирюхин

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия
pol@kscnet.ru*

С января 2009 по август 2024 г. в Мутновском геотермальном районе зарегистрировано 5813 землетрясений, 92% из них входят в 201 плоско-ориентированный кластер, интерпретируемые как магматические инъекции даек и силлов, внедряющихся преимущественно в северо-восточном секторе вулкана Мутновский. Измерение парциального давления неконденсированного газа на конденсаторе Мутновской ГеоЭС позволяет отслеживать притоки магматического газа, синхронизированного с инъекциями магмы в районе Мутновского вулкана.

Ключевые слова: НКГ, мониторинг, магматический газ, геотермальный резервуар, вулкан

Magmatic activity of the Mutnovsky volcano in 2009–2024

Andrey Yu. Polyakov, Alexey V. Kiryukhin

Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

From January 2009 to August 2024 there are 5813 earthquakes have been registered in the Mutnovsky geothermal field, 92% of them are 201 plane-oriented clusters interpreted as magmatic injections of dikes and sills injected mainly in the northeastern sector of Mutnovsky volcano. Measurement of the partial pressure of non-condensed gas at the condenser of the Mutnovsky GeoPP traces the inflows of magmatic gas synchronized with magma injections in the area of Mutnovsky volcano.

Keywords: NCG, monitoring, magmatic gas, geothermal reservoir, volcano

Введение

Пять сейсмических станций регистрируют сейсмичность в Мутновско-Гореловской вулканической зоне (MTV, GRL, ASA, RUS, PET). Выделение плоско-ориентированных кластеров, интерпретируемых как магматические инъекции даек и силлов, выполнялось по каталогам микроземлетрясений (MEQ) КФ ФИЦ ЕГС РАН с использованием программы Frac-Digger (Кирюхин и др., 2020; Поляков, 2020; Kiryukhin et al., 2018; 2020) (критерий выборки: временной интервал $\delta_t = 30$ дней, близость в горизонтальной плоскости $\delta_R = 6$ км, близость к плоской ориентации (расстояние от события до плоскости $\delta_Z = 1$ км).

Генерация электрической энергии на Мутновской ГеоЭС осуществляется посредством двух турбин по 25 МВт каждая, питание турбин осуществляют геотермальные скважины 24, А2, Гео-3, 029W, 016, ГК1, 042, 013, 017, 037, Гео-2 (рис. 1) через два сепаратора.

Давление в Мутновском двухфазном геотермальном резервуаре показало чувствительность к сильным землетрясениям (Кирюхин и др., 2006). Измерение парциального давления НКГ (PNCG) на конденсаторе Мутновской ГеоЭС позволяет отслеживать притоки магматического газа, синхронизированного с инъекциями магмы в районе Мутновского вулкана (Кирюхин, 2020; Поляков, 2020; Kiryukhin et al., 2018; 2020). С этой целью в 2019 г. было создано и апробировано оригинальное устройство, позволяющее обеспечить дистанционные наблюдения за изменением P_{NCG} в геотермальном паре в режиме реального времени (Поляков, 2020). С 2020 г. филиалом «Возобновляемая энергия» ПАО Камчатскэнерго предоставляются исходные данные по технологическим измерениям на конденсаторе Мутновской ГеоЭС, обработка которых осуществляется по методике, описанной в патенте № 2801789 С1 (Кирюхин и др., 2023).

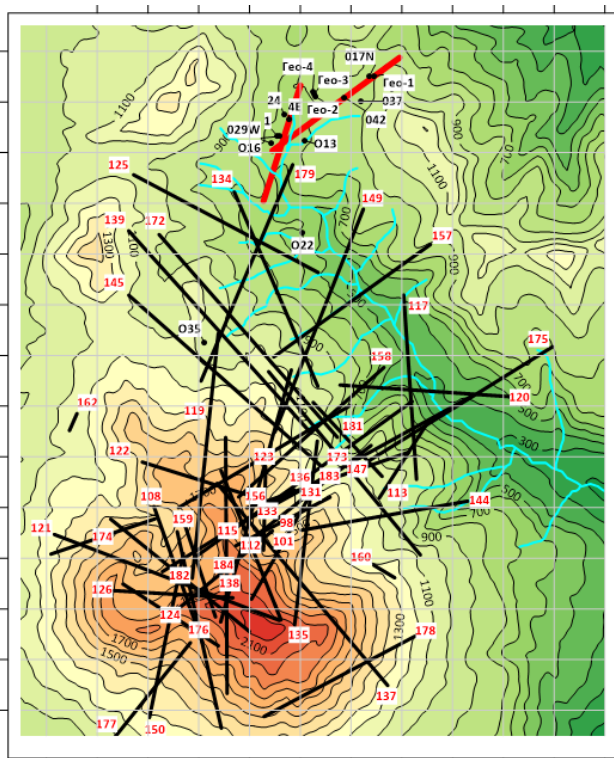


Рисунок 1 – Обобщающее поле инъекций даек на отметке –3000 м за период 2019–2024 гг. и позиции эксплуатационных скважин, доставляющих магматический газ на конденсатор МГеоЭС. Красными линиями показаны следы продуктивных разломов «Основной» и «Северо-Восточный» на отметке –250 м

Результаты мониторинга 2009–2024 гг.

С января 2009 по август 2024 г. в Мутновском геотермальном районе зарегистрировано 5813 землетрясений, 92% из них составляют 201 плоско-ориентированный кластер, интерпретируемый как магматические инъекции даек и силлов, внедряющихся преимущественно в северо-восточном секторе вулкана Мутновский на площади 2×10 км, на глубине от –4.0 до –2.0 км.

Данные по вариациям P_{NCG} в конденсаторе турбины МГеоЭС (2019–2024 гг.), получаемые по методике (Кирихин и др., 2023) для сглаживания краткосрочных колебаний и выделения основных пиков, были обработаны методом скользящего среднего. В результате выявлено 37 аномалии P_{NCG} (табл.). На рис. 2 в качестве примера приведены основные пики аномалий P_{NCG} (Pa) в конденсаторе турбины Мутновской ГеоЭС, моменты начала инъекций даек по эпизоду 01–08.2024 г. На рис. 3 показаны в 3D изображении рои даек, продуктивные разломы Основной и Северо-Восточный и эксплуатационные скважины МГеоЭС по эпизоду 09–12.2023 г.

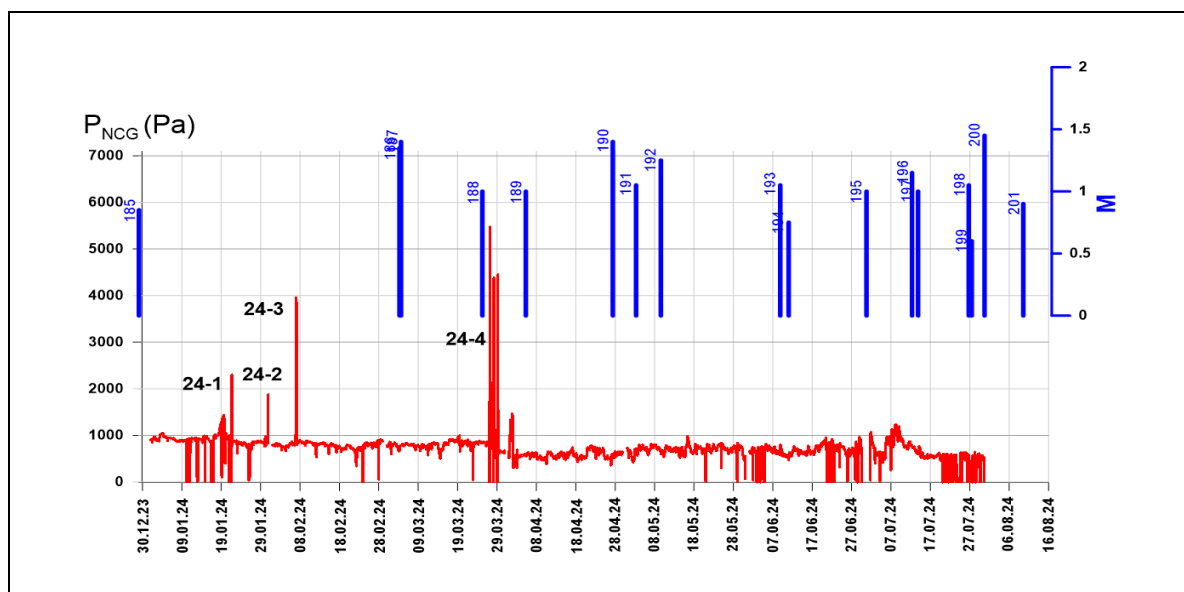


Рисунок 2 – Вариации P_{NCG} (Pa) в конденсаторе турбины Мутновской ГеоЭС (01.01 – 31.07.2024 гг.) и рои даек, выявленных по сейсмоданным (M – максимальная магнитуда при инъекции даек)

Таблица. Рои даек под Мутновским вулканом, сопровождающиеся аномалиями P_{NCG} и выделением сейсмической энергии ΔE (109 Дж). Δt (сут.) – сдвиг по времени между аномалией НКГ и началом инъекции роя даек

Дата	Рой даек	№ аномалии НКГ	Δt (сут.)	ΔE(10 ⁹ Дж)	Примечание
08.2019	98	19–1	20	0.1	
04.2020	100–101	20–1	15–20	0.2	
07.2020	108–109	20–2	3–20	0.03	
09.2020	112–115	20–3, 20–4, 20–5	5–22	0.15	
01-08.2021	117–122	Нет данных по P _{NCG}		0.15	Обвал ≈1 млн. м3 в кратере Мутновского вулкана 18.08.2021
09-11.2021	Даек не выявлено	21–1, 21–2, 21–3, 21–4		0.2	
12.2021	123	21–5	25	0.07	
01.2022	124–125	22–1	12–14	0.03	
02.2022	126	22–2	3	0.1	
03-05.2022	Нет сейсмоданных	22–3, 22–4, 22–5, 22–6			
07.2022	128	22–7, 22–8	3	0.06	
08-12.2022	129–130	22–9, 22–10	23–25	0.07	
10-11.2022	131–132	22–12, 22–13, 22–14, 22–15	30–59	0.03	
03.2023	133–139	23–1	5–45	0.02	Фреатический взрыв у скв. 022
04.2023	144–146	23–2	3–10	0.01	
05.2023	147–150	23–3	5–27	0.02	
07.2023	156–160	23–4	3–18	0.02	
07.2023	162	23–5	8	0.02	
09.2023	172–174	23–6	2–6	0.01	Обвал в кратере Мутновского вулкана 15.09.2023
10.2023	175–181	23–7	9–11	0.02	
11.2023	182–184	23–8	17–20	0.02	
01.2024	185	24–1 – 24-3	10–20	0.02	
03.2024	186–188	24–4	17–20	0.02	

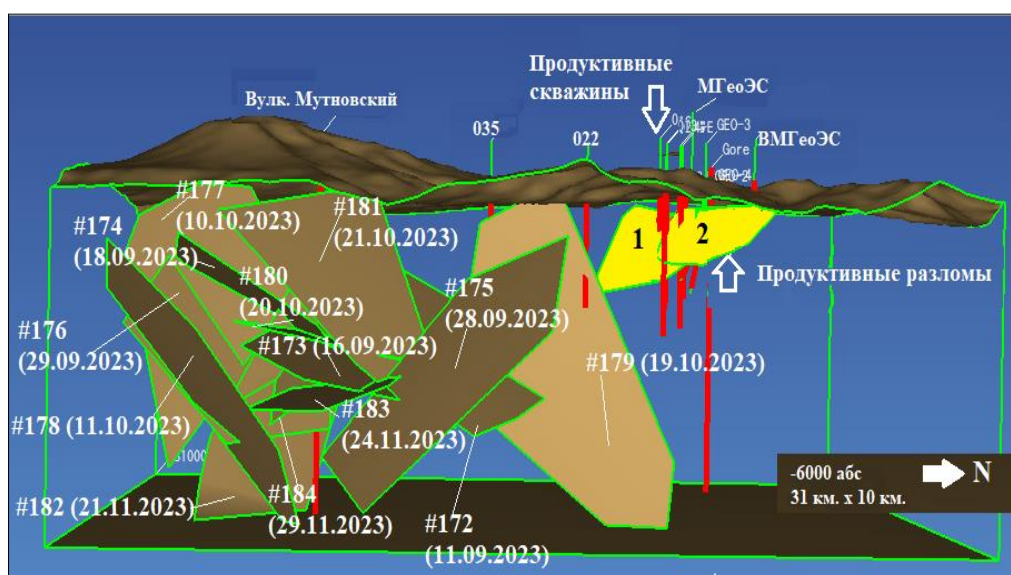


Рисунок 3 – Геометрия инъекций магмы в районе Мутновского вулкана по сейсмическим данным КФ ФИЦ ЕГС РАН за 09-12.2023 г, предшествующих аномалиям P_{NCG}, цифрами указаны номера даек (Табл. 1, Рис. 3). На рисунке показаны также эксплуатационные (016, 013, 029W, 1, 26, 4-E, Geo-1, Geo-2, Geo-3, Geo-4) и фонтанирующие скважины (022, 035) и продуктивные разломы «Основной» и «Северо-Восточный» (1, 2)

На рис. 1 показано обобщающее поле инъекций даек на отметке –3000 м за период 2019–2023 гг. и позиции эксплуатационных скважин, доставляющих магматический газ на конденсатор МГеоЭС.

Выводы

Магматическая активность вулкана Мутновский, выявляемая по сейсмическим данным в виде инъекций даек и силлов в северо-восточном секторе вулкана в период с 2009 по 2024 г., сопровождается притоками магматического газа в эксплуатируемый геотермальный резервуар, фиксируемыми по изменениям парциального давления НКГ на конденсаторе Мутновской ГеоЭС). Это подтверждается синхронизацией магматических инъекций (со сдвигом по времени на 1-2 мес.) с аномалиями парциального давления НКГ.

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.

Работа выполнена с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда «Исследования магмо-газо-водопроводящих систем активных вулканов» № 23-27-00127 (<https://rscf.ru/project/23-27-00127/>).

Список литературы

1. Кирюхин А.В. Геотермофлюидомеханика гидротермальных, вулканических и углеводородных систем / А.В. Кирюхин // СПб.: Эко-Вектор Ай-Пи, 2020. 431 с.
2. Кирюхин А.В., Поляков А.Ю., Журавлев Н.Б. Устройство для оценки парциального давления неконденсированного газа в геотермальном паре. / А.В. Кирюхин, А.Ю. Поляков, Н.Б. Журавлев, Патент № 2801789 С1 Российская Федерация. 15 августа 2023 г.
3. 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.
4. Kiryukhin A.V. Thermal-permeability structure and recharge conditions of the Mutnovsky high temperature geothermal field (Kamchatka, Russia) / A.V. Kiryukhin, A.Y. Polyakov, O.O. Usacheva et al. // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2018. V. 356. P. 36–55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.02.010>.
5. Kiryukhin A. Magma Fracking Beneath Active Volcanoes Based on Seismic Data and Hydrothermal Activity Observations / A. Kiryukhin, E. Chernykh, A. Polyakov et al. // Geosciences. 2020. 10, 52. P. 1–16, DOI: 10.3390/geosciences10020052.
6. Kiryukhin A.V. Magma Fracking and Production Reservoirs Beneath and Adjacent to Mutnovsky Volcano Based on Seismic Data and Hydrothermal Activity / A.V. Kiryukhin, A.Y. Polyakov, P.O. Voronin, N.B. Zhuravlev, O.O. Usacheva, A.V. Solomatin, P.A. Kiryukhin // Geothermics 105. 2022. P. 102474.
7. Кирюхин А.В. О возможной связи сильных землетрясений с аномальными изменениями давления в двухфазном геотермальном резервуаре / А.В. Кирюхин, В.А. Корнеев, А.Ю. Поляков // Вулканология и сейсмология. 2006. № 6. С. 3–11.