

Магматическая активность Мутновского вулкана в 2024 г. по сейсмическим и газогидрохимическим данным

Поляков А.Ю., Кирюхин А.В.

Magmatic activity of Mutnovsky volcano in 2024 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

В 2024 г. фиксируется усиление сейсмо-магматической активности под Мутновским вулканом и в северном секторе, прилегающем к Мутновскому геотермальному месторождению, в том числе по сейсмическим данным выявлено 35 эпизодов инъекций магмы, зарегистрировано 8 импульсных притоков неконденсирующегося газа.

Магматическая активность Мутновского вулкана в 2024 г.

Шесть сейсмических станций регистрируют сейсмичность в Мутновско-Гореловской вулканической зоне: ASA, DVGB, GRL, KLDG, MTV, VKN (Асача, Двугорбая, Горелый, Кальдера Горелого, Мутновский, Вакин). Выделение даек и силлов выполнялось по каталогам микроземлетрясений (MEQ) КФ ФИЦ ЕГС РАН с использованием программы Frac-Digger [1, 4, 6] (критерий выборки: $\delta_t=30$ дней, $\delta_R=6$ км, $\delta_Z=1$ км, $N=6$). С января по декабрь 2024 г. в Мутновском геотермальном районе зарегистрировано 2220 землетрясений, 96 % (2138) из них составляют 35 плоско-ориентированных кластера, интерпретированных как внедрения 19 даек и 16 силлов.

В августе-сентябре 2024 г. были запущены в эксплуатацию три новые сейсмические станции (DVGB, KLDG, VKN), в связи с чем было решено проверить, не произошло ли изменение распределения плоско-ориентированных кластеров землетрясений (угол падения, азимут падения, глубина), полученных в результате обработки сейсмических данных КФ ФИЦ ЕГС РАН в районе Мутновского вулкана (2010-2024 гг.) с использованием программы Frac-Digger [1, 4, 6].

Результирующие стереограммы и роза-диаграммы по азимуту падения приведены на рис. 1, 2, где видно, что по-прежнему большая часть плоско-ориентированных кластеров внедряется в северо-восточном секторе вулкана Мутновский, на глубинах -1800–3500 абс. Генерация электрической энергии на Мутновской ГеоЭС осуществляется посредством двух турбин по 25 МВт каждая, обеспечение турбин паром осуществляют геотермальные скважины А2, А4, Geo-1В, Geo-2, Geo-3, Geo-4, Geo-6, Geo-7, Geo-8, 029W, 016, ГК1, 042, 037).

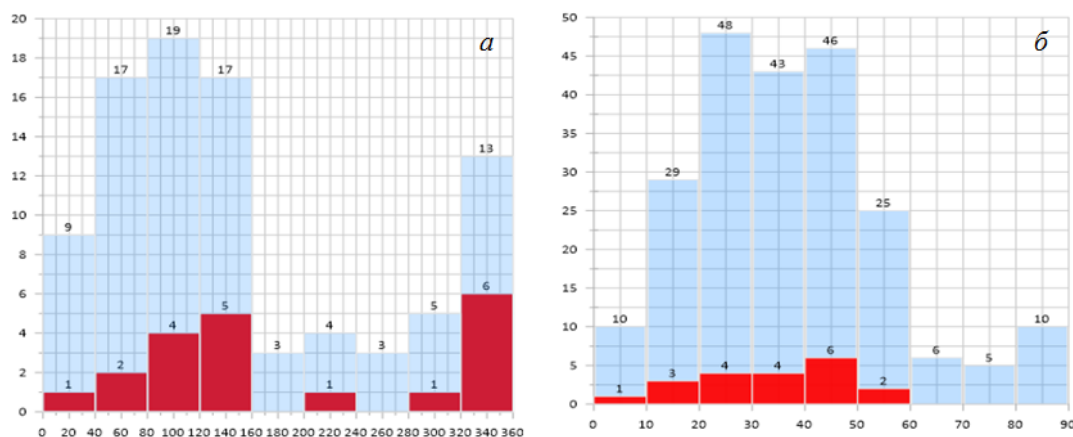


Рис. 1. Гистограммы распределения азимута (а) и угла (б) падения плоско ориентированных кластеров землетрясений в районе Мутновского вулкана в 2010-2024 гг. (синий цвет) и 09.2024-02.2025 гг. (красный цвет).

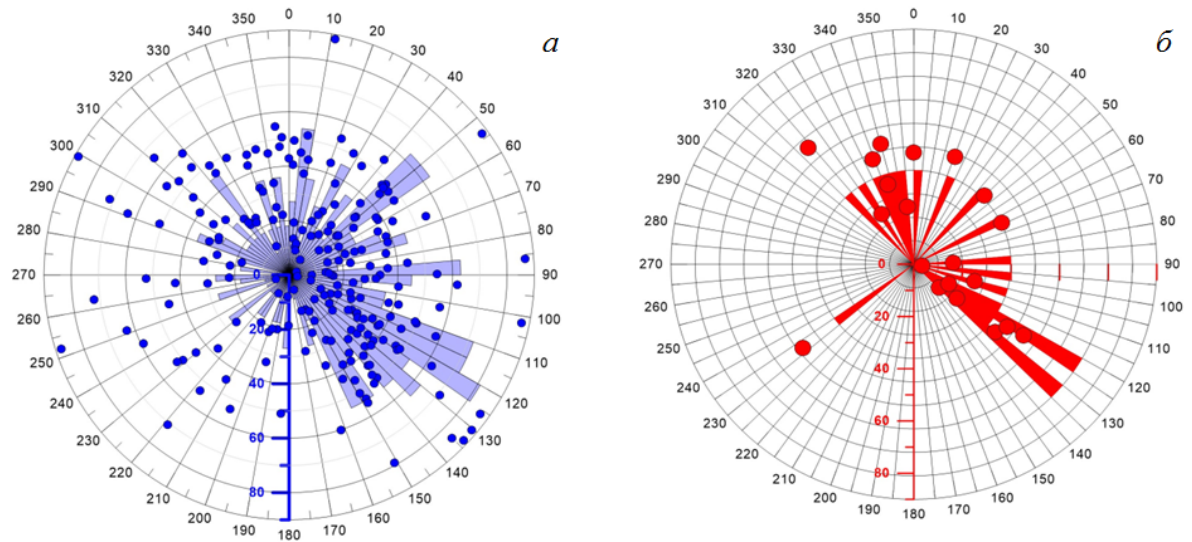


Рис. 2. Стереограмма распределения плоско ориентированных кластеров землетрясений в районе Мутновского вулкана в 2010-2024 гг. (а) и 09.2024-02.2025 гг. (б) (угол падения, азимут падения) и роза-диаграмма по азимуту падения.

Измерение газосодержания в общем паре Мутновской ГеоЭС позволяет проводить отслеживание дополнительного притока магматического газа, синхронизированного с инъекциями магмы [2, 3, 5, 6]. На рис. 3 сопоставлены данные парциального давления P_{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. 3 видно, что имеются внедрения даек: 186-189, 202-206, 210-212, 218-219 (рис. 4), следующие за выбросами P_{NCG} (24-1 – 24-8). Численные характеристики плоскостей аппроксимации плоско-ориентированных кластеров микроземлетрясений приведены в таблице.

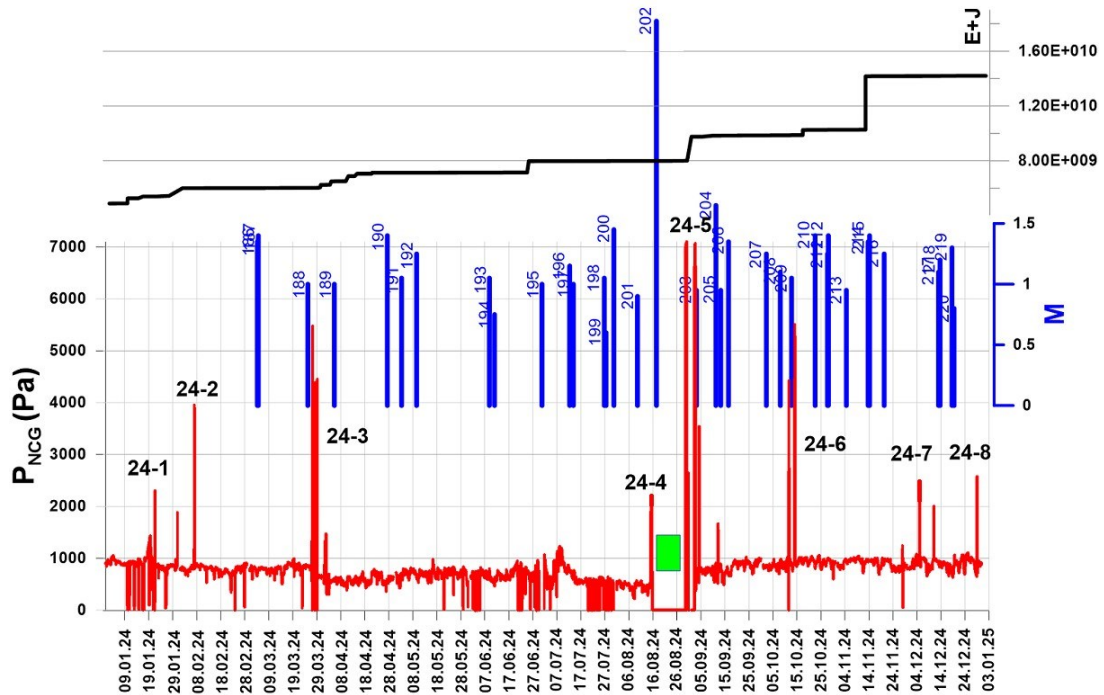


Рис. 3. Вариации P_{NCG} (Pa) в конденсаторе турбины Мутновской ГеоЭС за 2024 г. и рои даек, выявленных по сейсмоданным (M – максимальная магнитуда при инъекции), E+J выделенная сейсмическая энергия, номер кластера соответствуют таблице), зеленый прямоугольник – нет данных по давлению.

Таблица. Характеристики плоскостей аппроксимации плоско-ориентированных кластеров микроземлетрясений (MEQ), изображенных на рис. 3

№	$\alpha 1$	$\alpha 2$	X, м	Y, м	Z, м	Дата	M	N	S, км ²	V, м ³
186	15.4	89.1	43417	14790	-2340	04.03.2024	1.4	463	10	1733
187	58.4	112.8	43151	15045	-1427	04.03.2024	1.4	42	18.6	2058
188	42.9	9.5	43499	15022	-2361	25.03.2024	1	146	8.1	521
189	20.9	60.4	43861	14740	-2676	05.04.2024	1	67	11.4	521
190	45.7	115.7	44225	15216	-3288	27.04.2024	1.4	17	12.8	2058
191	22	267.3	42099	16358	-3011	03.05.2024	1.1	9	12.5	618
192	79.2	150.8	43721	14741	-3728	09.05.2024	1.3	11	25	1229
193	47.2	355.8	43270	14345	-2817	08.06.2024	1.1	136	12.4	618
194	55.1	148.4	43817	14669	-3787	11.06.2024	0.8	25	12.8	220
195	17.1	16.3	46680	19010	-3202	30.06.2024	1	35	19.5	521
196	23.2	51.2	44194	14951	-2254	12.07.2024	1.2	86	21	872
197	38.2	133.4	43255	14279	-2889	13.07.2024	1	86	22.2	521
198	34.2	350.4	47076	16224	-2704	26.07.2024	1.1	19	23.1	618
199	24.5	25.7	43308	16746	32	27.07.2024	0.6	6	15.2	132
200	49.7	324	46388	21213	-2609	30.07.2024	1.5	11	8.4	2444
201	32	92.2	43190	14875	-1756	09.08.2024	0.9	24	14.7	369
202	87.9	130.4	43186	13763	-11067	17.08.2024	3.5	17	177.1	2361208
203	12.9	133.2	45300	17897	-2259	03.09.2024	1	18	16.9	438
204	14.7	87.1	43532	15084	-1913	11.09.2024	1.7	242	18.2	4859
205	44	20.2	42910	16955	-224	13.09.2024	1	18	16.3	438
206	37.2	44.7	43553	14648	169	16.09.2024	1.4	104	16.1	1733
207	42.9	360	43367	14369	-1191	02.10.2024	1.3	98	22.6	1229
208	20.6	129.2	42897	14536	-2086	08.10.2024	1.1	26	16.7	734
209	23.4	105.9	43639	15210	-1813	12.10.2024	1.1	67	7.8	618
210	59.3	318.8	48677	16204	-1697	22.10.2024	1.4	10	24	2058
211	22.7	328.3	43184	13838	-1662	27.10.2024	1.3	25	8.1	1229
212	32.2	342.7	44144	18469	-2195	28.10.2024	1.4	24	22.9	2058
213	47.8	345.1	43487	15374	-1626	04.11.2024	1	120	17.5	438
214	52.1	232.2	36547	27105	-1221	13.11.2024	1.4	6	10.1	1733
215	48.9	123.7	43796	15161	-545	14.11.2024	1.4	53	19.5	2058
216	36.2	63.9	44246	21074	-2627	20.11.2024	1.3	9	18.1	1229
217	39.7	130.6	43537	14309	1072	12.12.2024	1.1	33	8.4	734
218	22.2	353.7	43523	15604	-1742	13.12.2024	1.2	66	10.3	1035
219	42.1	124.7	44049	14836	-1618	18.12.2024	1.3	13	11	1459
220	14.9	119.9	41631	19572	-2912	19.12.2024	0.8	6	6.6	262

Примечание. № – номер кластера; $\alpha 1$ – угол падения; $\alpha 2$ – азимут падения (градусы); X, Y, Z – координаты и глубина; M – максимальная магнитуда; N – число сейсмических событий в кластере; S – площадь кластера; V – объем инъекции магмы по [4].

Выводы

В 2024 г. магматическая активность вулкана Мутновский продолжилась в виде инъекций даек и силлов в северо-восточном секторе вулкана, с сохранением их предшествующей (2009-2023 гг.) геометрической ориентации. Магматическая активность сопровождается гидротермальными взрывами и притоком магматического газа в эксплуатируемый геотермальный резервуар (фиксируемого по изменениям парциального давления).

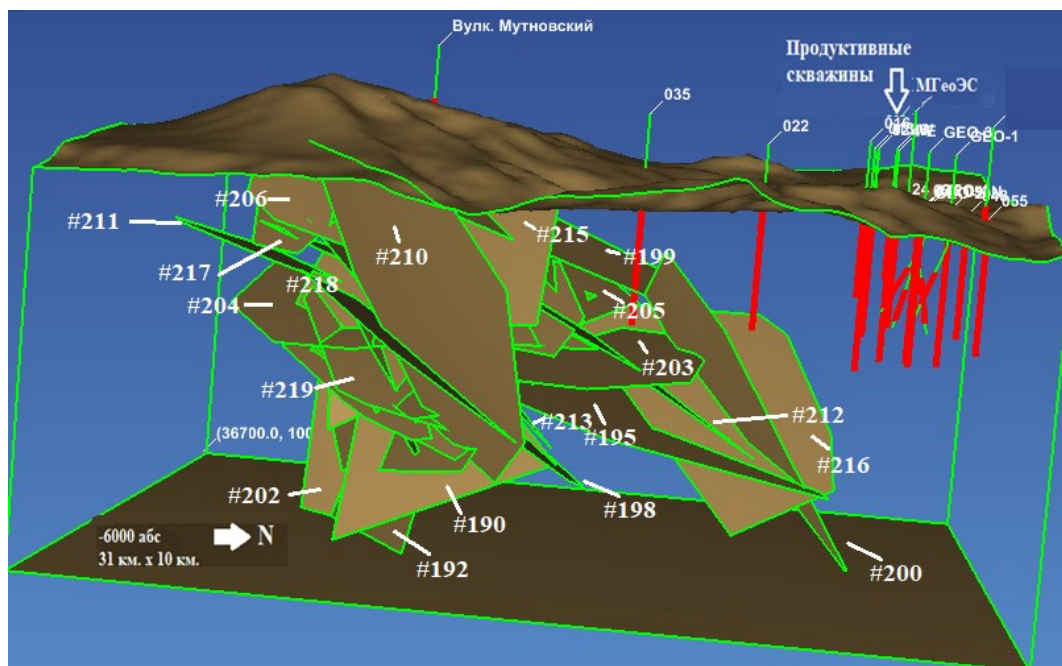


Рис. 4. Геометрия инъекций магмы в районе Мутновского вулкана по сейсмическим данным КФ ФИЦ ЕГС РАН за 2024 г, предшествующих аномалиям P_{NCG} , числами указаны номера даек (таблица, рис. 3), эксплуатационные и фонтанирующие скважины.

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 о давлении 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 по теме НИР ИВиС ДВО РАН № FWME-2024-0007.

Список литературы

1. Кирюхин А.В. Геотермофлюидомеханика гидротермальных, вулканических и углеводородных систем. 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. Патент № 2801789 С1 Российская Федерация. 15 августа 2023 г.
3. Кирюхин А.В., Fujii Y., Alam B.A., Черных Е.В. Магнитуды сейсмических событий, индуцированных инъекциями флюидов в земной коре // Вулканология и сейсмология. 2024. № 2. С. 14-23.
4. 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.
5. Kiryukhin A.V., Polyakov A.Y., 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>
6. 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(2). Art. 52. <https://doi.org/10.3390/geosciences10020052>