

Мониторинг притока неконденсирующихся газов в Мутновский продуктивный геотермальный резервуар в 2019-2023 гг.

Поляков А.Ю., Кирюхин А.В.

Analysis of non-condensable gas inflow to the Mutnovsky productive geothermal reservoir in 2019-2023

Polyakov A.Yu., Kiryukhin A.V.

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

e-mail: pol@kscnet.ru

С 2019 г. на конденсаторе Мутновской ГеоЭС проводятся наблюдения за изменением парциального давления неконденсированного газа (P_{NCG}) в геотермальном паре. За 4 года наблюдений зарегистрированы 34 аномалии P_{NCG} , из которых 19 синхронизированы с магматическими инъекциями.

Введение

Генерация электрической энергии на Мутновской ГеоЭС осуществляется посредством двух турбин по 25 МВт каждая, питание турбин осуществляют геотермальные скважины 24, А2, Geo-3, 029W, 016, ГК1, 042, 013, 017, 037, Geo-2 через два сепаратора [6].

Измерение парциального (P_{NCG}) давления неконденсированного газа (НКГ) на конденсаторе Мутновской ГеоЭС позволяет отслеживать притоки магматического газа, синхронизированного с инъекциями магмы в районе Мутновского вулкана [2-5]. 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 [2]. Начиная 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 [2].

Результаты мониторинга 2019-2023 гг.

Пять сейсмических станций регистрируют сейсмичность в Мутновско-Гореловской вулканической зоне (MTV, GRL, ASA, RUS, PET). Выделение плоско-ориентированных кластеров выполнялось по каталогам микроземлетрясений (MEQ) КФ ФИЦ ЕГС РАН с использованием программы Fgas-Digger [1, 4-6] (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).

С августа 2019 г. по декабрь 2023 г. в Мутновском геотермальном районе зарегистрировано 2892 землетрясения, 94 % из них составляют 82 плоско-ориентированных кластера, интерпретированных 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.

Полученные по методике [2] данные по вариациям P_{NCG} в конденсаторе турбины МГеоЭС, для сглаживания краткосрочных колебаний и выделения основных пиков, были обработаны методом скользящего среднего. В результате выявлено 34 аномалии P_{NCG} (таблица). На рис. 1 в качестве примера приведены основные пики аномалий P_{NCG} (P_a) в конденсаторе турбины Мутновской ГеоЭС, моменты начала инъекций даек и график выделения сейсмической энергии по эпизоду 01-07.2023 г. На рис. 2 показаны в 3D-изображении рои даек, продуктивные разломы Основной и Северо-Восточный и эксплуатационные скважины МГеоЭС по эпизоду 01-07.2023 г.

На рис. 3 показано обобщающее поле инъекций даек на отметке -3000 м за период 2019-2023 гг. и позиции эксплуатационных скважин, доставляющих магматический газ на конденсатор МГеоЭС.

Таблица. Рои даек под Мутновским вулканом, сопровождающиеся аномалиями P_{NCG} и выделением сейсмической энергии ΔE (10^9 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. м ³ 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	

Выводы

Магматическая активность вулкана Мутновский, выявленная по сейсмическим данным в виде инъекций даек и силлов в северо-восточном секторе вулкана в период с 2019 г. по 2023 г., сопровождается притоком магматического газа в эксплуатируемый геотермальный резервуар (фиксируемого по изменениям парциального давления НКГ на конденсаторе МГеоЭС). Это доказывается синхронизацией магматических инъекций (со сдвигом по времени на 1-2 мес.) с аномалиями парциального давления НКГ. Фреатический взрыв у скв. 022 синхронизирован с инъекцией даек #134-139 в феврале-марте 2023 г.

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/>).

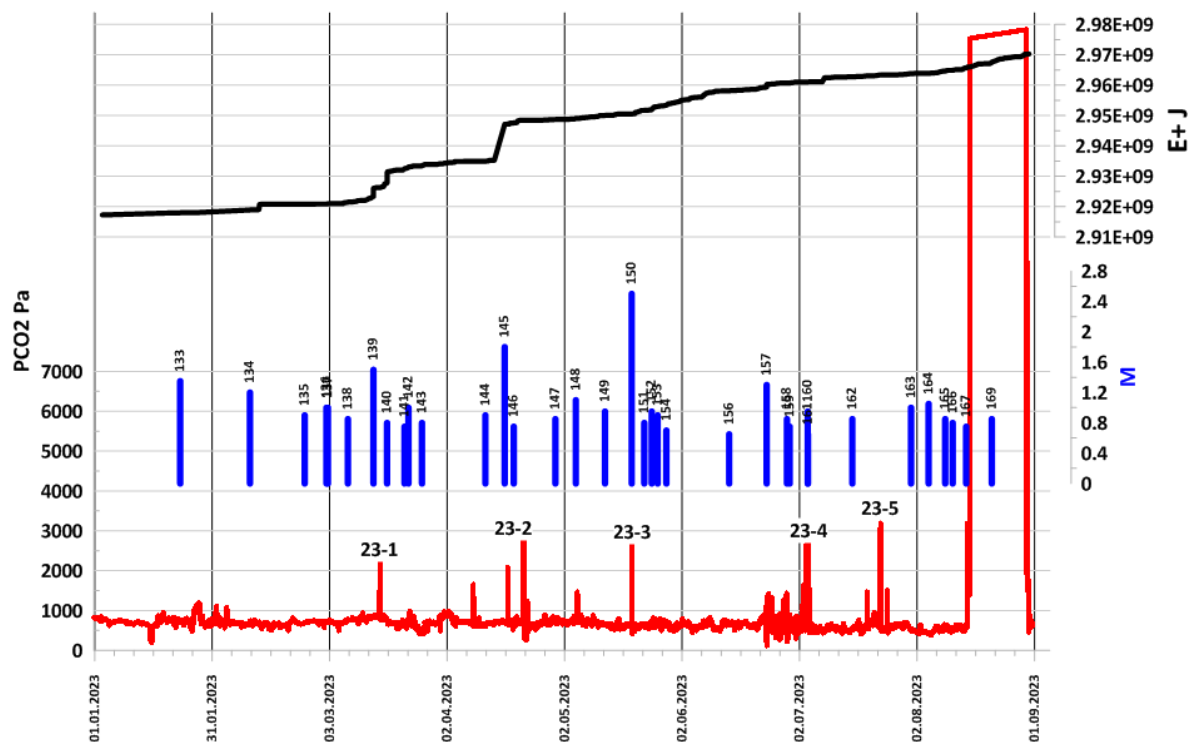


Рис. 1. Вариации P_{NCG} (Pa) в конденсаторе турбины Мутновской ГеоЭС (01.01-01.09.2023 гг.) и рои даек, выявленных по сейсмоданным. М – максимальная магнитуда при инъекции даек, E+J – выделенная сейсмическая энергия.

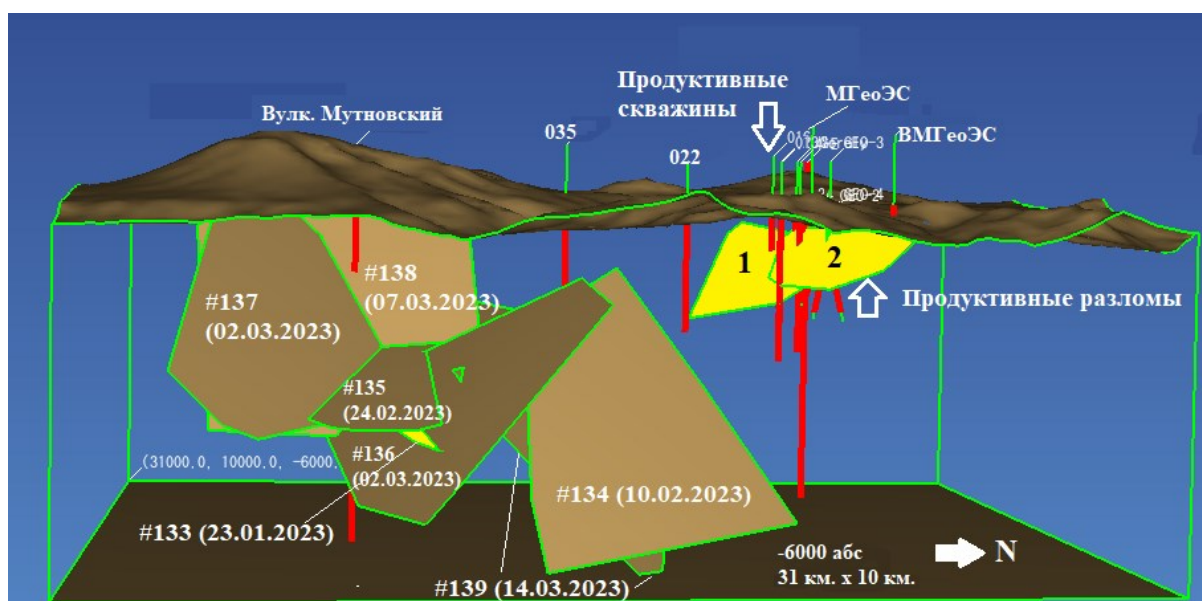


Рис. 2. Геометрия инъекций магмы в районе Мутновского вулкана по сейсмическим данным КФ ФИЦ ЕГС РАН за 01-03.2023 г., предшествующих аномалиям P_{NCG} , цифрами указаны номера даек (таблица, рис. 3). На рисунке показаны также эксплуатационные (016, 013, 029W, 1, 26, 4-E, Geo-1, Geo-2, Geo-3, Geo-4) и фонтанирующие скважины (022, 035) и продуктивные разломы «Основной» и «Северо-Восточный» (1, 2).

