**Численное моделирование фазовых равновесий многокомпонентных гидротермальных растворов на примере геотермального месторождения Камчатки**

***1Шведова А.П. , 2Сахаров П.С.***

*1Студент, 2Аспирант*

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова*

*Физический факультет, Москва, Россия*

*E-mail: 1*[*anyamistashka@mail.ru*](mailto:anyamistashka@mail.ru)*, 2*[*sakharovp@mail.ru*](mailto:sakharovp@mail.ru)

Геотермальная энергия представляет собой одну из наиболее перспективных форм возобновляемой энергии, использующей тепло, добываемое из недр Земли. С учетом истощения невозобновляемых энергетических ресурсов она становится важным элементом перехода к более чистым и устойчивым источникам энергии.

Основной проблемой, влияющей на экономическую жизнеспособность геотермальных систем и ограничивающей срок службы теплооборудования, а следовательно, препятствующей высокоэффективному извлечению энергии, является отложение аморфного кремнезема из геотермальной жидкости (теплоносителя) при поднятии её из добывающей скважины [1, 2, 4].

Потенциал осаждения зависит от различных факторов таких, как химический состав (концентрации ионов) и pH геотермального флюида, давление и температура. На больших глубинах подземные воды обычно недонасыщены по отношению к аморфному кремнезему, однако, поднимаясь вверх и охлаждаясь, его растворимость снижается, а жидкость становится пересыщенной, в следствии чего кремнезем выпадает в виде накипи или коллоидов [1]. Подобная проблема наблюдается в скважинах и на оборудовании Мутновского вулканического района [3].

В настоящей работе численно моделируются химические процессы, происходящие в геотермальных растворах скважин Мутновского месторождения. Расчеты проводятся в гидрогеохимическом пакете (симуляторе) PHREEQC, который позволяет моделировать протекание равновесных процессов растворения и осаждения минералов в водных растворах. Для моделирования выбирается подходящая база данных минералов на основе наличия требуемых химических элементов и возможности работы с условиями высоких давлений и температур. Оценивается возможность выпадения различных минералов в осадок, а также оценивается количество осадка (в частности аморфного кремнезема). Выводы о возможности осаждения минералов из геотермальной жидкости, производятся на основе получаемых значений их индексов насыщения.

**Литература**

1. Yung Ngothai, Daniel Lane, Gideon Kuncoro, Norio Yanagisawa, Peter Rose, and Allan Pring Effect of Geothermal Brine Properties on Silica Scaling in Enhanced Geothermal Systems // GRC Transactions, Vol. 36, 2012.

2. Setiawan, F.A., Rahayuningsih, E., Petrus, H.T.B.M. et al. Kinetics of silica precipitation in geothermal brine with seeds addition: minimizing silica scaling in a cold re injection system // Geotherm Energy 7, 22 (2019). https://doi.org/10.1186/s40517-019-0138-3

3. В.В. Потапов, Г.М. Мин, В.А. Горбач Исследование физико-химических характеристик твердых отложений коллоидного кремнезема в скважинах, теплооборудовании ГеоЭС // Вестник камчатГту. – 2012.

4. Pierce Kunan, Guillaume Ravier, Eléonore Dalmais, Marion Ducousso, Pierre Cezac Thermodynamic and Kinetic Modelling of Scales Formation at the Soultz-sous-Forêts Geothermal Power Plant // Geosciences 2021, 11, 483. https://doi.org/10.3390/geosciences11120483