

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ В ОБЛАСТЯХ СОВРЕМЕННОГО ВУЛКАНИЗМА**

Геотермальная энергия является движущей силой геотермальных процессов: вулканических, гидротермальных и сейсмических – и проявляется в областях современного вулканализма в форме действующих вулканов, гидротермальных систем и землетрясений. Гидротермальные системы представляют собой «полезную часть» геотермальной энергии, которая может быть использована в пределах геотермальных месторождений для получения электрической и тепловой энергии, что иллюстрируется на примерах Мутновского и Паузетского геотермальных месторождений. Действующие вулканы не нашли применения в энергетике. Однако заключенная в них энергия может высвобождаться в виде гидротермальных взрывов, что обсуждается на примере конуса Авачинского вулкана. Землетрясения представляют собой наиболее опасный режим выделения геотермальной энергии. Изучение аномальных явлений гидродинамической природы в активных гидротермальных системах и на действующих вулканах продолжается.

Geothermal energy is a working horse of the volcano activity, hydrothermal discharge and earthquakes. Geothermal fields express a useful fraction of geothermal energy, which can be utilized in the form of electricity or direct heat use: this demonstrated based on Mutnovsky and Pauzhetsky (Kamchatka, Russia) geothermal fields examples. Volcanoes are a dangerous stockpile of geothermal energy which may release in uncontrolled way. Avacha volcano cone (Kamchatka, Russia) is an object of the monitoring and modeling study to estimate next explosion mechanism and its parameters. Earthquakes are examples of the most dangerous geothermal energy release, the study of earthquakes triggering active hydrothermal systems and volcanoes anomalous behavior is on going.

Актуальность развития и применения теории извлечения и использования геотермальной энергии очевидна для Курило-Камчатского региона России, находящегося в зоне активной вулканической и гидротермальной деятельности, обладающего огромными геотермальными ресурсами и в то же время находящегося в полной энергетической зависимости от импорта органического теплоносителя. Проект соответствует перечню критических технологий Российской Федерации по разделам «Оценка, комплексное освоение месторождений и глубокая переработка стратегически важного сырья», «Нетрадиционные возобновляемые экологически чистые источники энергии». Целью проекта являются исследования продуктов геотермальной энергии, которые проявляются в областях современного вулканализма в виде геотермальных месторождений, вулканов и зем-

летрясений. В качестве задач проекта в 2003 г. были выделены следующие:

- разработка и совершенствование методов диагностики восходящих потоков теплоносителя в пределах геотермальных месторождений [1, 5, 7];
- разработка и совершенствование методов математического моделирования в связи с оценкой эксплуатационных запасов геотермальных месторождений, в том числе в связи с обоснованием инвестиционной привлекательности геотермальных проектов [1, 5];
- разработка и совершенствование методов совмещенного термогидродинамического и геохимического моделирования в связи с прогнозом минералообразования в гидротермальных системах;
- оценка термогидродинамических условий парогидротермальных взрывов в конусах активных вулканов [6];

- исследования термогидродинамических аномалий в гидротермальных системах, связанных с землетрясениями [4].

Эти задачи решались в 2003 г. на примере геотермальных месторождений Камчатки (Мутновского, Паужетского) и Японии, вулкана Авачинский.

**Методы исследований.** Методическим ядром проекта является метод численного моделирования, реализованный в семействе вычислительных программ TOUGH2, TOUGHREACT, разработанных в Лоуренсовской лаборатории (Беркли, США) для анализа процессов тепломассопереноса в подземных условиях. При моделировании использовано также лицензионное программное обеспечение TOUGH2V2.0 (#000219MLTPL05), Lahey Fortran 90 4.5 и др. Исходными данными для моделирования могут служить результаты комплексного опробования геотермальных скважин, обработки сейсмологических данных КОМСП ГС РАН. Минералого-петрографическое изучение шлифов осуществлялось с использованием микроскопа AxioLab, рентгеновского дифрактометра ДРОН-3, микрозондового анализатора «САМЕВАХ». Химические и газовые анализы выполнялись в ЦХЛ Института вулканологии ДВО РАН (аттестат аккредитации RU.0001.511904). Газо-гидрохимическое опробование эксплуатационных скважин осуществлялось по методике ASTM E 1675-95a. Для мониторинга давления в геотермальном резервуаре использовалась система «капиллярная трубка» (Pruett Inc., USA).

**Основные результаты.** На основе комплекса структурно-геологических, гидро-геологических и минералого-geoхимических методов установлена геометрия продуктивной зоны «Основная» на участке «Дачный» Мутновского геотермального месторождения и обоснованы цели бурения дополнительных эксплуатационных скважин на этом участке [1, 7].

Кроме того, построена численная термогидродинамическая модель участка «Дачный». При разработке численной термогидродинамической модели продуктивной зоны созданы новые вычислительные

алгоритмы, позволяющие применять пакет программ TOUGH2 для анализа термогидродинамических процессов в крутопадающих трещинах. Результаты численного моделирования показывают, что неравномерная загрузка существующими эксплуатационными скважинами (016, 26, Е4, 029W и Е5) продуктивной зоны «Основная» ограничивает ее паропроизводительность (60-70 кг/с) с перспективой снижения до 30 кг/с в первые 10 лет эксплуатации. Показано, что увеличение нагрузки эксплуатации в рамках контура вышеупомянутых скважин нецелесообразно [1].

Активные гидротермальные системы и вулканы обладают повышенной чувствительностью к сейсмическим событиям, природа которой не раскрыта до сих пор [6]. В результате анализа данных мониторинга давления в геотермальном резервуаре Мутновского геотермального месторождения выявлены две новые аномалии циклических изменений давления, синхронизированные с сейсмическими событиями [4].

**Использование результатов в промышленности и системе образования.** Численная модель и рекомендации по целям бурения дополнительных скважин на участке «Дачный» Мутновского геотермального месторождения переданы в АО «Геотерм» для более эффективного управления эксплуатацией месторождения.

Результаты НИР использовались в рамках курса «Информационные технологии» [2, 3] и при проведении геотермальной школы для студентов и аспирантов на Мутновском геотермальном месторождении. Подготовлено к печати учебное пособие «Математическое моделирование геотермальных процессов».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кирюхин А.В. Проблемы геотермальных исследований в областях современного вулканизма // Сб. материалов совещания «Гидрогеология и geoхимия складчатых областей Сибири и Дальнего Востока». Владивосток: Дальнаука, 2003.

2. Черных Е.В. Семь задач для курса «Моделирование геотермальных процессов» // Конф. профессорско-преподавательского состава КГТУ. Петропавловск-Камч., 2003.

3. Черных Е.В. Примеры применения компьютерной графики для решения вулканологических, сейсмологических и геотермальных задач // Региональная молодежная конференция КНЦ и КГПУ. Петропавловск-Камч., 2003.
4. Kiryukhin A. Pressure Perturbations in Two Phase Geothermal Reservoir Associated with Seismosity / A.Kiryukhin, M.Lesnykh, A.Polyakov // Proc. 28 Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford, CA, 2003, Jan. 27-29.
5. Kiryukhin A.V. Modeling Study of the Pauzhetsky Geothermal Field, Kamchatka, Russia / A.V.Kiryukhin, V.A.Yampolsky // TOUGH Symposium 2003, Lawrence Berkeley National Laboratory – 52494.
6. Kiryukhin A.V. Modeling study of the avachinsky volcano cone hydrothermal eruption conditions / A.Kiryukhin, I.Dubrovskaya, N.Kiryukhina // Abstract Week A, XXIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, Sapporo, Japan, 2003. June 30 – July 11.
7. Kiryukhin A.V. Comparative Study of Kamchatka and Japan Geothermal Fields // Structures in the Continental Crust and Geothermal Resources // Abstract Volume- Geothermal Congress, Sep.24-27, Siena, Italy, 2003.