

**ОБ ОРГАНИЗАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКОГО И GPS-МОНИТОРИНГА
РАЙОНА МУТНОВСКОГО ВУЛКАНА И МУТНОВСКОГО ГЕОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА В РАМКАХ ПРОЕКТА НАУЧНОГО БУРЕНИЯ
MSDP (MUTNOVSKY SCIENTIFIC DRILLING PROJECT)**

Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А., Левин В.Е.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, ku@emsd.ru

Введение

В настоящее время для рассмотрения в Международную программу научного бурения (International Continental Scientific Drilling Program, ICDP, <http://www.icdp-online.org>) подан проект MSDP исследования связи магматической системы Мутновского вулкана и Мутновского геотермального месторождения с использованием научного бурения [10, 11]. В комплекс предпроектных работ (2008-2011 гг.) включена организация сейсмических и GPS-наблюдений в этом районе, которая может быть выполнена коллективом КФ ГС РАН.

В 1999-2002 гг. на Камчатке у подножья Мутновского вулкана создан Мутновский геотермальный комплекс общей мощностью более 60 МВт, включающий две геотермальные электростанции (ГеоЭС): Мутновскую и Верхнее-Мутновскую. Он обеспечивает более 25 % потребности в электроэнергии центрального энергоузла Камчатской области, куда входят города Петропавловск-Камчатский и Елизово. Проблемы, возникающие при промышленной эксплуатации Мутновского месторождения парогидротерм относятся к вопросам обеспечения энергетической безопасности региона. Мутновский геотермальный комплекс находится в непосредственной близости от двух действующих вулканов: Мутновского и Горелого, а по карте общего сейсмического районирования ОСП-97-с [5] относится к 10-балльной зоне для объектов повышенного уровня ответственности. Несмотря на это, в районе Мутновского месторождения отсутствуют системы наблюдений, как за местной сейсмической активностью, так и за современными движениями земной коры. Проблему, возможно, удастся решить в рамках проекта MSDP.

Региональные сети сейсмо- и GPS-GLONASS-мониторинга

Региональная сеть сейсмических станций Камчатки включает 11 стационарных и 34 радиотелеметрических станций, часть из которых расположена на активных вулканах. Информация о текущей сейсмичности исследуемого района неполна, что связано с отсутствием сети локального сейсмического мониторинга. Ближайшими к исследуемому району являются сейсмостанции «Горелый» (работает с июля 1980 года, $r \approx 12$ км) и «Бухта Русская» (работает с декабря 1987 года, $r \approx 30$ км). Региональная сеть сейсмических станций для района вулканов Мутновский и Горелый обеспечивает уровень надежной регистрации землетрясений с 6.5 класса и выше. (Класс сейсмических событий определяется по энергетической классификации [6]). В отличие от района Авачинской и Северной групп вулканов, где для слежения за сейсмической активностью вулканов организованы достаточно плотные наблюдательные сети радиотелеметрических сейсмостанций, локальный мониторинг сейсмичности в районе Мутновского вулкана отсутствует. Имеющаяся региональная сеть станций ориентирована на исследование региональной сейсмичности Камчатки и Командорских островов. Ее конфигурация и технические возможности не позволяют осуществлять необходимый контроль тонкой пространственно-временной структуры сейсмичности в локальных районах, в частности, вблизи вулкана Мутновский и Мутновского геотермального месторождения [9].

В настоящее время КФ ГС РАН на базе информации, получаемой региональной сетью станций, ведет работу по контролю сейсмичности Мутновско-Гореловской группы вулканов на энергетическом уровне с 6.5 класса и выше. Дополнительно ведутся анализ спутниковых снимков и визуальные наблюдения. Информация об активности вулканов размещена на сайте КФ ГС РАН, обновляется ежедневно и доступна по адресу <http://emsd.iks.ru/~ssl/monitoring/main.htm>.

В конце 1997 года на Камчатке была создана региональная опорная сеть GPS станций непрерывного наблюдения КАМNET [3]. Сеть создавалась для определения глобальных движений тектонических блоков, регистрации смещений земной коры возникающих от сейсмических событий и как опорная сеть для эпизодических и полевых GPS наблюдений на локальных полигонах в районах активных вулканов. К настоящему времени сеть из 18 станций с шагом около 200 километров охватывает всю территорию Камчатского края. В районе г. Петропавловска-

Камчатского и п. Усть-Камчатск сеть уплотнена. Здесь станции стоят с шагом 10-20 км. Имеется также около 140 реперов, наблюдения на которых проводятся эпизодически. Более плотная сеть GPS пунктов с шагом 3-10 км создана в окрестностях вулканов Карымский и Безымянный. Для наблюдений, в основном, используются GPS приемники ASHTECH Z-XII3 или TOPCON GP-R1DY с антеннами ASHTECH CHOKERING или Topcon Geodetic III. Обработка наблюдений ведется пакетом программ GAMIT/GLOBK.

В настоящее время необходимо организовать геодезический мониторинг деформаций земной поверхности в окрестностях вулкана Мутновский, используя как классические методы наблюдений (нивелирование, светодальномерные измерения), так и современные технические средства, такие как спутниковые системы слежения за деформациями (INSAR и GPS-GLONASS). Возможности по точности измерений GPS-GLONASS систем можно охарактеризовать следующим образом. По опыту полевых геодезических измерений на вулкане Карымский за суточный цикл может быть обеспечена точность измерения линии длиной до 20 км на уровне 2 мм. В условиях стационарных измерений, когда может быть изучено и ослаблено влияние основных ошибок, связанных с неточным учетом влажности, влиянием многопутности лучей и “блужданием” фазового центра приемника, для указанных длин линий ошибка может быть уменьшена до уровня 1 мм. Это означает, что измерения, выполненные в две эпохи, могут обеспечить определение скорости изменения линейной деформации на уровне 10^{-7} . Создание локальной GPS-GLONASS сети в районе вулкана Мутновский, как составной части региональной GPS сети KAMNET [3], позволит по результатам последующих эпох измерений по всей сети не только изучить современные движения в районе вулкана, что позволит обеспечить деформационную безопасность бурения скважин, но и получить данные по размерам площади проявления деформаций, связанных с субдукционными землетрясениями в районе южной части полуострова Камчатка.

Последствия разработки Мутновского гидротермального месторождения

Буровые работы на Мутновском месторождении ведутся с 1978 г., пробурено около 90 скважин глубиной от 250 до 2500 м. Отбор парогазовой смеси обеспечивает функционирование двух ГеоЭС. Отработанный теплоноситель закачивается обратно в недра для сохранения ресурсов месторождения.

- По массе изъятых из скважин теплоносителя Мутновский геотермический комплекс не только сопоставим, но и превышает продуктивность средних по мощности вулканических аппаратов, в том числе и вместе взятых ближайших к месторождению вулканов Мутновский и Горелый [1].
- Вследствие извлечения таких объемов теплоносителя не исключены подвижки поверхности резервуара. Опубликованных данных по проседанию земной поверхности вследствие извлечения теплоносителя нет.
- По каталогам региональных землетрясений показано, что в течение последних 10 лет зафиксирован ряд слабых поверхностных сейсмических событий непосредственно из области эксплуатации Мутновского гидротермального поля [1, 7], хотя ранее считалось, что местная сейсмичность здесь отсутствует.
- Отмечено падение пластового давления в гидротермальном резервуаре, понижение гидростатического уровня водоносного комплекса, превышения расхода отбора теплоносителя над расходом притока глубинного теплоносителя в геотермальный резервуар [8].
- В пределах эксплуатируемой площади зафиксированы гидротермальные взрывы [2, 4].

Промышленная эксплуатация месторождений, связанная с отбором вещества из недр и теплообменом, ведет к изменению естественных физических полей, в первую очередь, механического и геотермического. Нарушение хрупкого естественного динамического равновесия влечет за собой изменение параметров среды и ее переход на новый качественный и количественный уровень. Активизация геодинамических процессов, в том числе сейсмичности, может представлять опасность как для скважин и комплекса геотермальных станций, так и для их обслуживающего персонала. Масштаб нарушения естественного равновесия среды вследствие эксплуатации Мутновской гидротермальной системы не определен. Отсутствие целенаправленного разностороннего мониторинга месторождения не дает возможности произвести комплексную оценку происходящих изменений. Для контроля за этими процессами необходима организация наблюдений за состоянием среды различными методами. Именно комплексный мониторинг обычно наиболее эффективен.

Цели организации сейсмической микрогруппы

- Мониторинг сейсмичности района Мутновского гидротермального месторождения и Мутновского вулкана;
- Определение природы землетрясений в районе Мутновского вулкана и гидротермальной системы;
- Уточнение конфигурации и положения наиболее сейсмоактивных разломных зон;
- Исследование зависимости параметров сейсмичности от характеристик эксплуатации месторождения и выявление тенденций в развитии сейсмического процесса;
- Контроль сейсмической активности под постройкой Мутновского вулкана для прогноза его извержения;
- Уточнение геометрии геотермального резервуара, выявление новых потенциальных продуктивных зон по сейсмическим данным;
- Расчет фокальных механизмов по волновым формам землетрясений и определение поля напряжений.

Цели организации локальной GPS-GLONASS сети наблюдений

- Мониторинг современных движений земной коры, связанных с вулканической активностью вулкана Мутновский и определение параметров вулканического очага;
- Изучение деформационных процессов, связанных с геотермальными проявлениями в районе Мутновской гидротермальной системы;
- Регистрация деформационных предвестников извержения вулкана Мутновский;
- Выявление и изучение активных разломных структур;
- Слежение за деформационными процессами земной поверхности, связанными с эксплуатацией геотермального резервуара;
- Обеспечение деформационной безопасности бурения скважин.

Особенности сети наблюдений

В зависимости от объема финансирования планируется установить в исследуемом районе 6-10 комплексных пунктов наблюдений, в состав каждого из которых войдет трехкомпонентная сейсмическая станция и система GPS-наблюдений. Конфигурация группы будет определяться преимущественно исходя из возможности ее обслуживания наземным транспортом. Опыт установки и эксплуатации автономных комплексных сейсмо-GPS пунктов получен при организации и проведении исследований в окрестностях вулкана Безымянный в 2006-2007 гг.

Предполагается организовать локальный центр сбора информации (ЦСИ) на охраняемой территории Мутновской ГеоЭС. Передача данных с пунктов сейсмо-GPS-GLONASS наблюдений будет осуществляться в ЦСИ по радиоканалу. Для дальнейшей передачи данных в центр обработки информации в г. Петропавловск-Камчатский будет задействован спутник связи и вещания "Экспресс-АМЗ". Он находится на геостационарной орбите в позиции 140 град. в.д. с 2005 г. и обеспечивает связь и обмен данными на территории Сибири, Дальнего Востока, стран Азии и Азиатско-Тихоокеанского региона. Для пунктов, находящихся в зоне прямой видимости от ретранслятора, расположенного на склоне вулкана Горелый, возможна передача данных непосредственно в г. Петропавловск-Камчатский.

Создание на территории Мутновской ГеоЭС локального ЦСИ и передачи информации по спутниковому каналу связи может быть использовано в дальнейшем:

- для оперативной передачи других видов наблюдений;
- для организации службы связи (с выходом в Интернет) для инфраструктуры, которая будет создана для осуществления глубинного бурения;
- для использования в качестве дублирующего канала связи Мутновской ГеоЭС.

Имеющийся в КФ ГС РАН научно-технический задел для обеспечения мониторинга

- Наличие региональной сети сейсмического и GPS-GLONASS мониторинга, что позволит обеспечить дополнительную информационную поддержку создающейся локальной сети. Отдельные станции региональной сети KAMNET будут служить опорными станциями при обработке данных при эпизодических GPS-GLONASS наблюдениях на локальных полигонах в районе Мутновского вулкана;
- Выделенные радиоканалы для передачи данных;
- Программные и технические средства для оперативного сбора и обработки сейсмологической и GPS-информации;

- Опыт установки и эксплуатации сейсмостанций и GPS-GLONASS систем в труднодоступных вулканических районах.

Заключение

Проблема контроля и исследования состояния промышленно эксплуатируемых гидротермальных месторождений является новой для российской сейсмологии и геофизики. В организации слежения за разработкой гидротермальных систем должны быть заинтересованы не только ученые, но и, в первую очередь, недропользователи и территориальная администрация.

Отсутствие систем геофизических наблюдений в районе Мутновского вулкана и геотермального комплекса привело к потере уникальных данных, связанных с началом разработки месторождения парогидротерм. Остались неопределенны как параметры фоновой локальной сейсмичности этого района, так и фоновые деформационные характеристики среды, невозмущенной промышленной эксплуатацией. Особую ценность имела информация первых лет изъятия теплоносителя из недр. Потеря этих данных и отсутствие системы мониторинга является слабой стороной разрабатываемого проекта MSDP, который направлен на изучение взаимосвязи и взаимовлияния Мутновского вулкана и Мутновской гидротермальной системы, а также поиск путей обеспечения геотермального комплекса теплоносителем в необходимых объемах.

Данные, полученные на Камчатке, указывают на нарушения естественного равновесия среды вследствие эксплуатации гидротермальной системы. Оценка масштабов этих нарушений при отсутствии современных систем наблюдений не представляется возможной. Необходимо использовать имеющийся опыт и в других районах, где планируется или уже ведется разработка гидротермальных систем. В первую очередь это относится к Курильским островам и Северному Кавказу, которые также являются геодинамически активными районами. Результаты таких исследований должны быть использованы при составлении планов эксплуатации месторождений.

Список литературы

1. Кугаенко Ю.А. Проблемы эксплуатации геотермальной системы в сейсмологическом аспекте (на примере Мутновского геотермального комплекса, Южная Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2006. №4. С.43-56.
2. Кугаенко Ю.А., Мельников Д.В. Проявления техногенеза в геодинамически активном районе Мутновского геотермального комплекса (Южная Камчатка) // География и природные ресурсы. 2006. №3. С. 30-37
3. Левин В.Е., Магуськин М.А., Бахтиаров В.Ф., Павлов В.М., Титков В.Н. Мультисистемный геодезический мониторинг современных движений земной коры на Камчатке и Командорских островах // Вулканология и сейсмология. 2006. №3. С.54-67.
4. Мельников Д.В. Некоторые особенности гидротермальных взрывов в районе Мутновской гидротермальной электростанции // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2004, №4, с.120-124.
5. Страхов В.Н., Уломов В.И., Шумилина Л.С. Общее сейсмическое районирование территории России и сопредельных стран // Физика Земли. 1998. № 10. С.92-96.
6. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 117 с.
7. Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А. Сейсмичность на эксплуатируемых гидротермальных месторождениях Камчатки // Геотермальные и минеральные ресурсы областей современного вулканизма. Материалы международного полевого Курило-Камчатского семинара. 16 июля-6 августа 2005 г. Петропавловск-Камчатский: Оттиск, 2005. С.419-427.
8. Чернев И.И. Мутновское геотермальное месторождение: результаты эксплуатации, мониторинг основных параметров, оценка влияния реинжекции на добычные скважины // Материалы Международного полевого Курило-Камчатского семинара, 16 июня – 6 августа 2005 г. Петропавловск-Камчатский, 2005. С.106-116.
9. Chebrov V., Kugaenko Yu., Saltykov V. Problems of earthquakes registration in Mutnovsky volcano and Mutnovsky geothermal field area // International Workshop: Mutnovsky Scientific Drilling Project “The magma-hydrothermal connection: Mutnovsky volcano and Mutnovsky geothermal reservoir”. Extended Abstracts. Petropavlovsk-Kamchatsky. 25-29.09.2006. с.93-95.
10. Eichelberger, J., A. Kiryukhin. Scientific drilling project on Russia's Mutnovsky Volcano // *Eos Trans. AGU*, 2006. 87(50). p.569.
11. Mutnovsky Scientific Drilling Project http://www.icdp-online.org/content/icdp/front_content.php?idcat=607