



УДК 551.234

А. П. Максимов<sup>1</sup>, П. П. Фирстов<sup>2</sup>, И. И. Чернев<sup>3</sup>, В. Н. Шапарь<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,  
Петропавловск-Камчатский, 683 006;  
e-mail: maximov@kscnet.ru*

<sup>2</sup> *Камчатский филиал Геофизической службы РАН,  
Петропавловск-Камчатский, 683 006;*

<sup>3</sup> *ОАО «Геотерм», Петропавловск-Камчатский*

## Метод оценки доли метеорной воды в теплоносителе Мутновской ГеоЭС

Представлены результаты мониторинга газового состава теплоносителя Мутновского месторождения парогидротерм. Анализ концентраций кислорода и азота указывает на участие в формировании состава газов глубинной, метеорной и воздушной составляющих. Предложен метод оценки этих составляющих по соотношению азота, аргона и кислорода в геотермальном газе, атмосферном воздухе и в газе, растворенном в метеорной воде.

### Введение

Проблема генезиса и функционирования гидротермальных систем — это во многом проблема источника вещества. В решении проблемы формирования теплоносителя геотермального резервуара большое значение имеет выяснение относительной роли глубинного флюида и воды, поступающей с поверхности, т. е. соотношение глубинной и метеорной составляющих. Дополнительным источником информации о гидрогеологической обстановке месторождения может служить изучение газового режима скважин.

Состав газов, выделяющихся из теплоносителя на скважинах Мутновского месторождения парогидротерм, неизбежно отражает процессы формирования гидротермального раствора на глубине и последующую его эволюцию при продвижении к поверхности. Мониторинг газового режима скважин Мутновского месторождения проводится с июня 2004 г. с целью выявления вариаций состава газов во времени, между скважинами и поиска закономерностей, которые позволили бы прояснить эти процессы.

### Методика

Планомерный отбор проб производился с частотой один раз в месяц, однако, выполнять это удавалось не всегда. Как правило, опробовалось 10–12 скважин, расположенных на различных участках месторождения. Отбор и анализ газов проводился по методике, описанной в [2]. Анализируемые компоненты:  $H_2O$ ,  $H_2S$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $He$ ,  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $Ar$ ,  $CH_4$ ,  $C_2H_6$  и тяжёлые углеводороды.

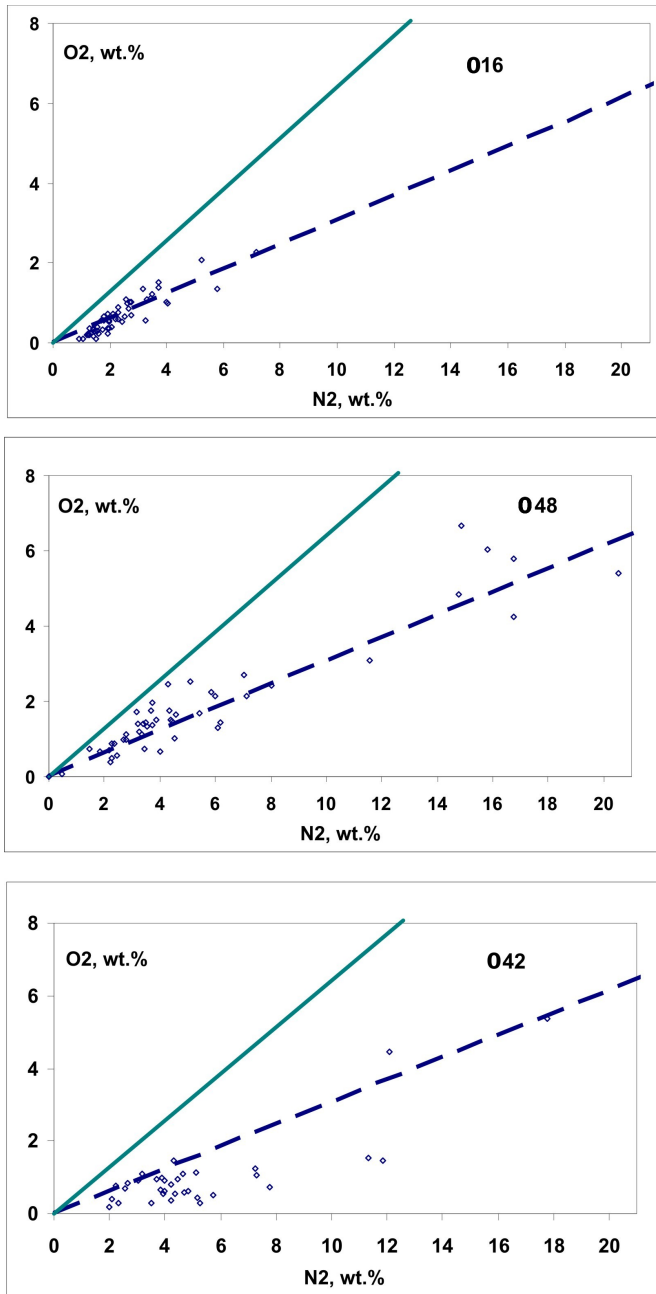
Расчёт состава газа проводился по схеме, изложенной в работе [1]. Содержания углеводородов кроме  $CH_4$  и  $C_2H_6$  составляли незначительную долю смеси неабсорбированных газов (обычно тысячные — сотые доли об.%). Эти компоненты

суммировались и в дальнейших расчётах не учитывались. Так как в паровой фазе теплоносителя суммарное содержание всех газов кроме воды составляет десятки доли процента, а концентрации отдельных компонентов газовой смеси ещё меньше, то для удобства и большей наглядности эти концентрации рассчитывались в объёмных и массовых процентах компонентов «сухого» газа, т. е., газовой смеси за вычетом воды. Кроме того, рассчитывались содержания газовых компонентов в массовых процентах компонентов газа в паре с учётом воды и в теплоносителе в целом с учётом доли паровой фазы в теплоносителе.

### Обсуждение результатов

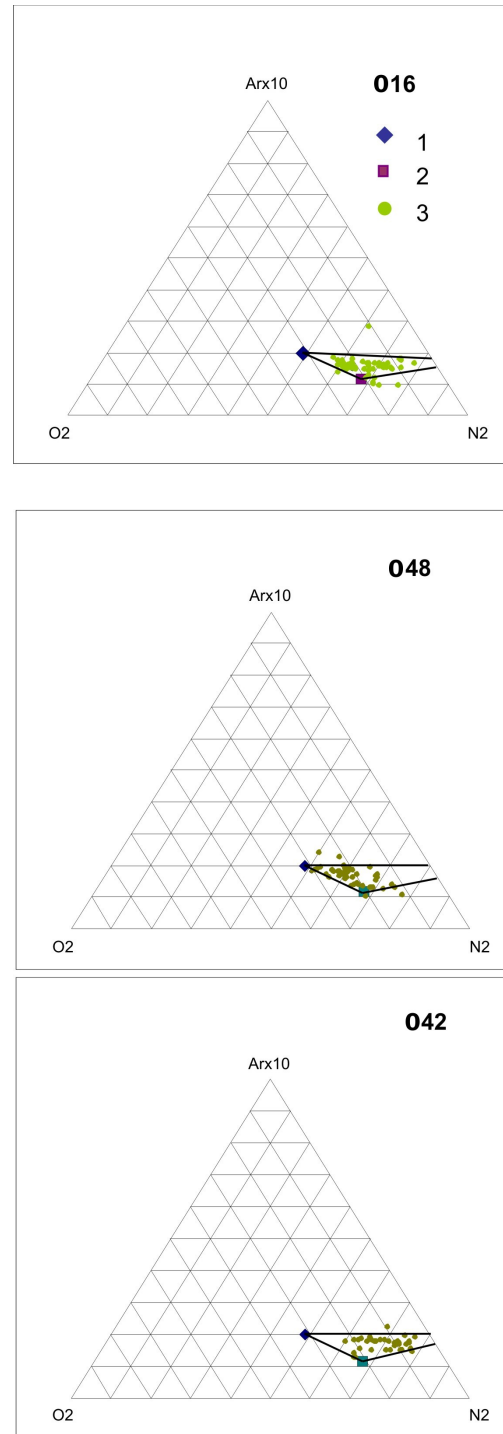
Основным компонентом газовой смеси является вода, содержание которой по массе превышает 99%. Среди остальных, «сухих», газов резко преобладали  $H_2S$  и  $CO_2$ , обычно составляющие более 90%. Следующими по распространённости компонентами являются азот и кислород.

**Вариации отношений  $O_2/N_2$ .** На рис. 1 в координатах  $O_2-N_2$  показаны концентрации этих газов для трёх скважин. Данные относятся ко всему периоду наблюдений. На графиках пунктирная линия отвечает отношению кислорода к азоту в атмосфере. Из графиков видно, что наблюдается прямая корреляция этих газов, которая, в определённой степени, тяготеет к атмосферному отношению. Это указывает на участие атмосферного воздуха в формировании газового состава геотермального флюида. Однако, достаточно большое число точек на графиках попадает в область, где доля кислорода выше, чем в воздухе. Естественно, контаминация воздухом не могла привести к таким значениям. Так как содержания  $O_2$  в эндогенных газах чрезвычайно низки, то глубинная составляющая геотермально-



**Рис. 1.** Соотношение содержаний кислорода и азота (масс.%) в сухой части газа для трёх скважин Мутновской ГеоЭС за весь период наблюдений. Сплошная и пунктирная линии отвечают соотношению  $O_2/N_2$  для растворенного в воде газа и воздуха, соответственно. Номера скважин даны цифрами на графиках.

го теплоносителя имеет очень низкие отношения  $O_2/N_2$  и не могла вызвать повышение этого отношения. Единственным приемлемым объяснением этого факта является поступление воздушных газов в гидротермальный раствор вместе с метеорными водами, поскольку доля  $O_2$  относительно  $N_2$  в газе, растворенном в воде выше, чем в воздухе. Смешение метеорных вод с горячим глубинным флюидом приводит к переходу этих компонентов в газовую фазу



**Рис. 2.** Фигуративные точки состава газов для трёх скважин Мутновского месторождения в координатах  $O_2-N_2-Ar \times 10$ . 1 — состав газа, растворенного в метеорной воде при  $0^\circ C$ ; 2 — воздух; 3 — составы газа скважин. Номера скважин даны цифрами на графиках.

из-за падения растворимости с повышением температуры. При  $0^\circ C$  отношение  $O_2/N_2$  в воде более, чем в 2 раза выше, чем в воздухе. Такой механизм подтверждается тем, что составы с отношениями  $O_2/N_2$  выше, чем в метеорной воде, отсутствуют.

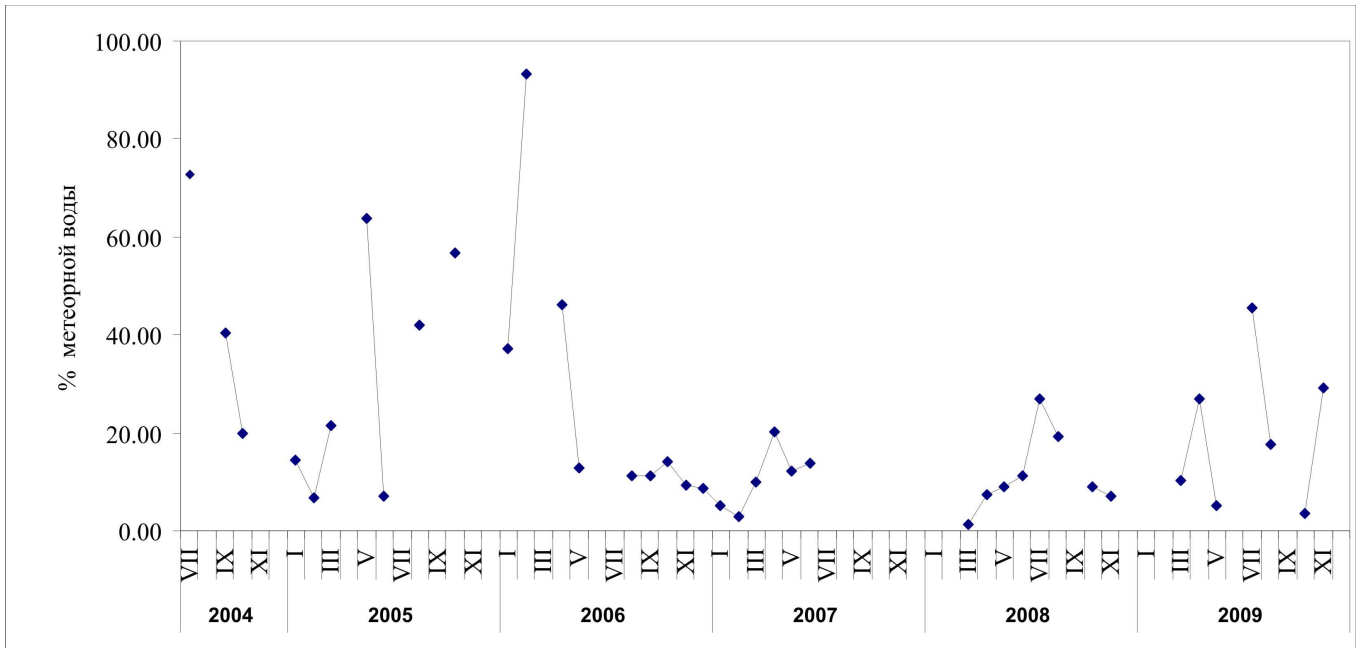


Рис. 3. Расчетная доля метеорной составляющей (в масс.%) для скважины А-2.

Из рис. 1 видно, что поведение кислорода по отношению к азоту различается для разных скважин месторождения. Так, скважина 042 характеризуется более низкими отношениями  $O_2/N_2$ , чем в атмосфере, а скважина 048 более высокими. Скважина 016 занимает промежуточное положение. Это может быть связано с различиями в гидрогеологическом режиме этих скважин, в частности, с различиями в питании метеорной водой. Таким образом, отношение  $O_2/N_2$  потенциально является показателем роли метеорной воды в теплоносителе.

Изложенные выше соображения, основанные на анализе состава газов геотермального флюида, подтверждают естественное предположение, что их состав формируется при участии трёх составляющих: 1) глубинного флюида, 2) метеорных вод с растворенными воздушными газами и 3) атмосферного воздуха. Наличие воздуха в анализируемом газе может быть либо результатом его подсоса в скважину, либо происходит в процессе пробоотбора.

**Оценка доли метеорной воды в теплоносителе.** Полученные результаты дают основания для оценки соотношения этих составляющих. Оценка их относительной доли может дать дополнительную информацию о гидрогеологическом режиме месторождения и быть потенциально полезной с точки зрения продуктивности различных его участков. Для оценочных расчётов долей разных составляющих в теплоносителе в уравнениях баланса масс имеются данные о составе самого теплоносителя и двух его составляющих: атмосферной и метеорной (следует оговориться, что состав последней зависит от температуры подземной воды). Для расчётов этих данных недостаточно, и следует найти какое-либо недостающее условие.

С этой целью были привлечены данные по соотношению азота, аргона и кислорода в геотермальном газе, атмосферном воздухе и в газе, растворенном в метеорной воде. Соответствующие данные представлены на рис. 2 в координатах  $O_2-N_2-Ar \times 10$ . Подавляющее большинство фигуративных точек на этих графиках для всех изученных скважин попадает в область, ограниченную точками составов атмосферного воздуха и метеорной воды и коротким отрезком на линии  $N_2-Ar \times 10$  с координатами  $18\%N_2-20\%N_2$ , что соответствует отношению  $Ar/N_2 = 0,022-0,025$ . Так как в глубинном газе концентрации кислорода близки к 0, то состав газа в глубинной составляющей теплоносителя лежит на линии  $N_2-Ar$  и ограничен таким отношением. Учитывая неизбежные методические и аналитические погрешности, можно отметить довольно постоянный состав глубинного газа. Используя этот параметр, можно проделать оценки соотношения глубинной, метеорной и атмосферной составляющих в теплоносителе.

Исходя из полученных данных, были проделаны оценки соотношения гидротермальной, метеорной и воздушной составляющих в теплоносителе некоторых скважин. Доля воздушной составляющей крайне низка, но существенно влияет на расчёты. В качестве примера, на рис. 3 представлены расчётные доли метеорной составляющей (в масс.%) для скважины А-2. Эти значения колеблются в очень широких пределах: от первых процентов до превышающих 90%. Несомненно, проделанные оценки подвержены достаточно большой неопределённости, вызванной как сделанными допущениями, погрешностями отбора и анализа, так и упрощённой моделью взаимодействия потоков глубинного флюида и метеорных вод. Тем не менее, представляется,

что данный подход может быть полезен для расчётов состава гидротермального раствора и анализа процессов в геотермальном резервуаре. В дальнейшем планируется провести сравнительный анализ роли метеорной воды для разных скважин и поиска закономерностей её вариаций во времени. По-видимому, для этого потребуется производить отбор газов с большей детальностью.

#### Список литературы

1. Максимов А. П., Фирстов П. П., Чернев И. И., Мальшева О. П. Мониторинг газового режима теплоносителя Мутновской ГЕОЭС в 2004–2006 гг. // Материалы совещания. International Workshop: Mutnovsky scientific drilling project. Exploring the Magma-Hydrothermal Connection 24–30 September, 2006. Петропавловск-Камчатский. 2006. С. 69–72.
2. Никитина Л. П., Меняйлов И. А., Шапарь В. Н. Модифицированные методы отбора и анализа вулканических газов // Вулканология и сейсмология. 1989. № 4. С. 3–15.