

## АЭРОГЕННАЯ И ВОДНАЯ МИГРАЦИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

лами, биогеохимическая ситуация в них неблагоприятна для жизнедеятельности организмов.

*Работа выполнена при поддержке гранта РГНФ 06-06-18007е и интеграционного проекта ОНЗ-3.1*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Березиков Ю.К., Гусев Н.И. Минерально-сырьевая база Алтайского края и перспективы ее развития // Матер. регион. науч.-практич. конф. «300 лет горно-геологической службе России». Барнаул, 2000. – С. 243-248.
2. География Алтайского края: Учебное пособие. – Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2004. – Ч.1. – 48 с.
3. Отчет о результатах поисково-оценочных работ на золото и серебро в пределах техногенных образований золотушинской обогатительной

фабрики и локтевского сереброплавильного завода за 1999-2001 гг. Книга 1.– Змеиногорск, 2001 г.

4. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М.: АН СССР, 1957. – 238 с.

5. Ориентировочно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в почвах. Гигиенические нормативы 2.1.7.020-94. Издание официальное М., Госкомсанэпиднадзор России. 1995. – 6 с.

6. Иванов В.В.. Экологическая геохимия элементов: Справочник. В 6 кн. / Под ред. Э. К. Буренкова. М.: Недра, 1996. Кн. 3: Редкие элементы. – 352 с.

7. Беспамятнов Г.Н., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. – Л. Химия, 1985.

8. Геохимия окружающей среды / Ю.Е Саев, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

9. Технико-экономическое обоснование защиты г. Горняк от подтопления подземными водами. – Белгород, 1997. – Белгород, 1997.

## ДИНАМИКА ГАЗОВОГО СОСТАВА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ МУТНОВСКОЙ ГЕОЭС В 2004 г.

П.П. Фирстов, А.П. Максимов, И.И. Чернев

*Рассмотрена динамика газового состава теплоносителя Мутновской Геотермальной электростанции за период июнь – декабрь 2004 г. Выявлена тенденция снижения доли газа в теплоносителе и понижение в нем отношения  $CO_2/H_2S$ .*

### Введение

Мутновское месторождение парогидротерм расположено на северном склоне Мутновского вулкана в труднодоступной пересеченной местности с абсолютными отметками высот 700-1000 метров на водоразделе рек Фальшивая и Жировая у подножия вершин Скалистая и Двугорбая. Мутновская геотермальная электростанция (ГеоЭС) мощностью 50 МВт располагается в центре месторождения. Сбор теплоносителя для работы ГеоЭС осуществляется с центральной части участка «Дачного».

Мониторинг состава газов в пароводяной смеси скважин Мутновского месторождения проводился с целью изучения изменений состава газа во времени и исследования возможной связи газового режима с динамикой

параметров скважин. Отбор газа осуществлялся на 13 скважинах:

– 016, 24, 26, 5Э, 029W, А-2, 4Э, 037 – добычные скважины;

– 048, 049, 055, А4, 013 – режимные скважины.

Авторы полагают, что мониторинг газового состава теплоносителя скважин (анализ его вариаций во времени, взаимосвязь с другими термогидродинамическими параметрами скважин) может служить дополнительным источником информации об изменениях термогидродинамических параметров геотермального резервуара, за чем чрезвычайно важно наблюдать с целью контроля и прогноза отбора количества пара для Мутновской ГеоЭС.

### МЕТОДИКА

*Методика отбора газа.* Отбор газа проводился по методике, описанной в работе [2], которая применяется для отбора вулканических газов и позволяет в одной пробе определять абсорбированные и неабсорбированные компоненты газовой смеси. Для отбора использовались вакуумированные барботеры из тугоплавкого стекла емкостью 270-300 мл, заполненные щелочным поглотителем. В качестве поглотителя использовался 4М раствор КОН с добавлением гидроксида кадмия. Барботеры вакуумировались через выход № 1 за 1-2 дня перед отбором (рис.1).

Перед началом отбора газа к выпускному патрубку скважины подсоединялся миниатюрный циклонный пробоотборочный сепаратор, и система прогревалась не менее 5 минут. Затем, согласно схеме, показанной на рис.1, к боковому отводу сепаратора через капилляр подсоединялся барботер. Длительность отбора газа на каждой скважине подбиралась эмпирически, исходя из условия, что количества конденсата должно быть не менее чем залитой щелочи (50-100 мл).

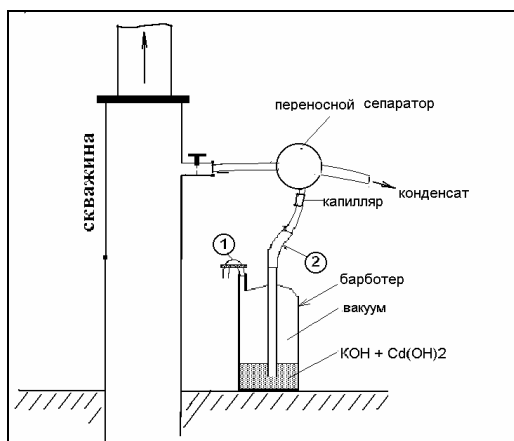


Рисунок 1 – Схема отбора газов теплоносителя на скважинах мутновского геотермального месторождения

*Методы анализа.* Анализируемые компоненты:  $H_2O$ ,  $H_2S$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $He$ ,  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $Ar$ , метан, этан и другие углеводороды. В процессе отбора  $H_2S$  и  $CO_2$  абсорбировались поглотителем, там же конденсировался и водяной пар, который составлял подавляющую долю прибавки в весе. Все остальные компоненты газовой смеси относятся к неабсорбированным газам.

Для определения концентраций неабсорбированных компонентов газовой пробы использовался газохроматографический ме-

тод анализа. Определение  $H_2S$  проводилось йодометрическим методом анализа осадка CdS. Определение  $CO_2$  производилось потенциометрическим титрованием.

*Расчет 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 расчетах не учитывались.

При расчете составов вулканических газов обычно из них вычитается воздушная составляющая путем удаления всего кислорода, а также азота и аргона в пропорции, соответствующей концентрации последних в атмосфере. В наших расчетах мы вынуждены были отказаться от этой процедуры, т.к. выяснилось, что в целом ряде проб доля  $O_2$  относительно  $N_2$  оказалась выше, чем в воздухе. Причина этого обстоятельства обсуждается ниже.

*Результаты анализов* представлялись в объемных процентах компонентов сухого газа (т.е., газовой смеси за вычетом воды) и массовой доли сухого газа в целом.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Вода является резко преобладающим компонентом газовой смеси, суммарное содержание всех остальных газов, как правило, составляет десятые – сотые доли процента по массе. Наибольшая концентрация газа наблюдалась для скважины 049 в августе и октябре – 1.19 и 0.94 % соответственно. Тем не менее, несмотря на низкую долю газов, для каждой скважины прослеживается определенная тенденция в динамике концентрации газа и его состава. При анализе поведения вулканических газов в целях прогноза ослабления или усиления вулканической активности используется отношение концентраций газов, отличающихся по геохимическим свойствам, например по растворимости в магмах. По аналогии с методикой анализа вулканических газов для характеристики поведения газов скважин нами использовались отношения  $CO_2/H_2S$  и  $O_2/N_2$ . Предполагается, что отношение  $CO_2/H_2S$  может отражать поведение эндогенной, а отношение  $O_2/N_2$  – метеорной составляющей газовой смеси. Ниже описаны некоторые подмеченные закономерности.

1. В течение наблюдаемого периода наблюдается снижение доли газа для отдельных скважин и в среднем по всем скважинам (рис.2). При этом можно выделить

## ДИНАМИКА ГАЗОВОГО СОСТАВА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ МУТНОВСКОЙ ГЕОЭС В 2004 г.

группу скважин с более низким и более стабильным содержанием газа (0.07 – 0.24 масс.%) – скважины 24, 5Э, 048, 055 и 013. Остальные скважины отличаются более высокими долями газа и, как правило, более заметными их вариациями. Следует заметить, что данная закономерность осложняется рядом отклонений. Например, в ряде декабрьских проб наблюдалось повышение доли газа.

2. *Снижение во времени отношения  $CO_2/H_2S$*  как для индивидуальных скважин, так и в среднем по всем скважинам (рис.3). Поведение этого параметра как для индивидуальных скважин, так и его общая тенденция также осложняется отклонениями, особенно заметными в декабрьских пробах. Здесь также можно выделить группу скважин с более устойчивыми отношениями  $CO_2/H_2S$ : скважины 016, 048 и 055.

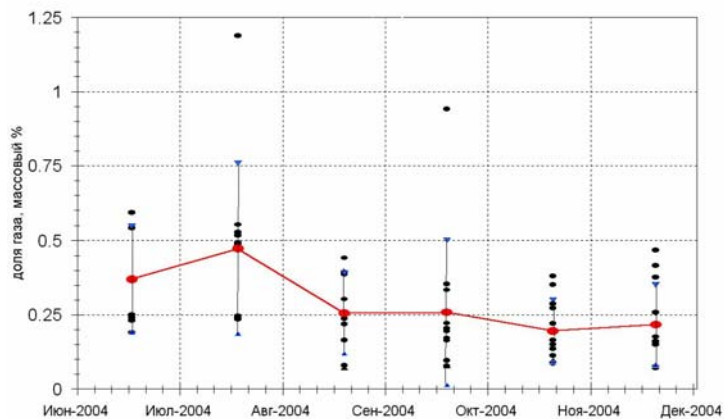


Рисунок 2 – Общая тенденция изменение во времени доли газа (массовый %) в теплоносителе контролируемых скважин Мутновской ГеоЭС

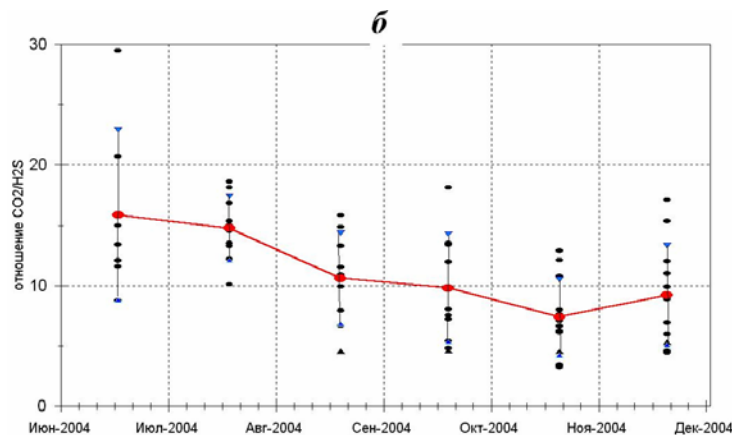


Рисунок 3 – Общая тенденция изменение отношения  $CO_2/H_2S$  в газе теплоносителя контролируемых скважин во времени

В целом наблюдается тенденция одно-временного снижения концентрации газа и отношения углекислоты к сероводороду во времени (рис. 2 и 3) и, соответственно, определенная корреляция этих параметров (рис. 4). По-видимому, тенденции к понижению доли газов и снижению отношения  $CO_2/H_2S$  отражает уменьшение в составе теплоносителя доли эндогенной составляющей. Возможно, также поведение отношения  $CO_2/H_2S$  отражает характер дегазации магматического

тела (тел), под влиянием которого сформировалось геотермальное месторождение. Как предположение можно указать на различие растворимостей углекислоты и сероводорода в магмах.  $CO_2$  имеет более низкую растворимость в магматических расплавах, и отделение этого газа наиболее активно происходит на ранних стадиях дегазации при становлении интрузивов. Роль сероводорода, как относительно более растворимого летучего, возрастает на более поздних стадиях охлаж-

дения и кристаллизации интрузивов. Таким образом, при отделении летучих от остывающего интрузива можно ожидать понижения во флюиде отношения  $CO_2/H_2S$  во времени.

Однако ввиду кратковременности периода наших наблюдений такое объяснение вызывает сомнения. Вероятно, что определенную роль здесь играет интенсивная эксплуатация месторождения и реинжекция отрабо-

танного теплоносителя. Характерно, что тенденции к снижению общей доли всех компонентов газа относительно воды (рис. 2) и уменьшению в нем отношения  $CO_2/H_2S$  (рис. 3) закономерно коррелируют с падением гидродинамического давления, мониторинг которого ОАО «Геотерм» проводит на участке «Дачном» в наблюдательной скважине №12 на глубине 800 м.

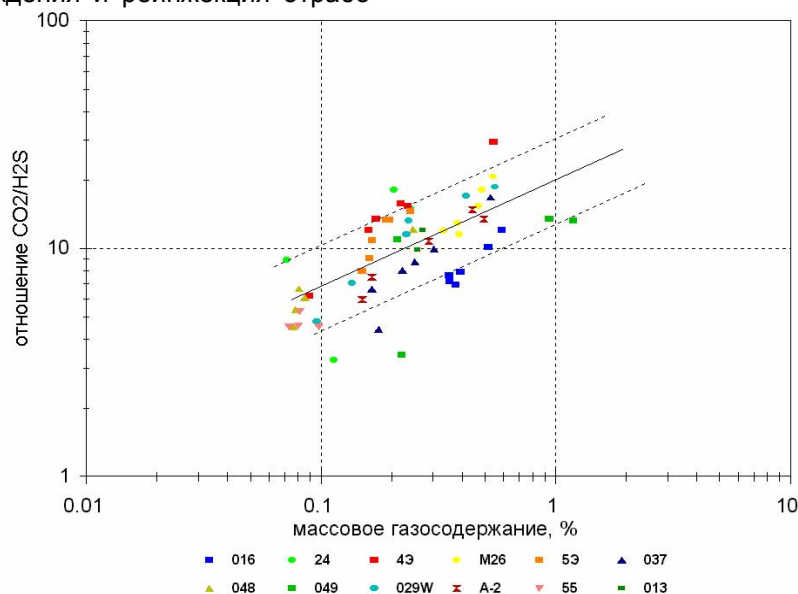


Рисунок 4 – Зависимость отношения  $CO_2/H_2S$  от доли газа (без  $H_2O$ ) в теплоносителе в скважинах Мутновского геотермального месторождения

3. *Вариации отношения  $O_2/N_2$  в газе скважин относительно атмосферного* представлены на рис.5. Из графика видно, что во многих пробах это отношение выше, чем в воздухе. Так как содержания кислорода в эндогенных газах чрезвычайно низки, а смешение глубинного газа с воздухом не может привести к повышению отношения  $[O_2/N_2]_{газ} : [O_2/N_2]_{воздуха}$  до 1 и тем более выше, данное обстоятельство требует специального объяснения.

Большое число анализов, где данное отношение  $\geq 1$  не может быть вызвано аналитическими и методическими ошибками. Единственное приемлемое объяснение – это поступление воздушных газов в теплоноситель вместе с метеорными водами. Растворимость кислорода (а также аргона) в воде выше, чем азота. Соответственно доля кислорода относительно азота в растворенном газе выше, чем в воздухе. При  $0^\circ C$  отношение  $O_2/N_2$  в воде более, чем в 2 раза выше, чем в воздухе. Из графика (рис. 5) видно, что точки составов газов в отдельных случаях приближаются к линии отношения для растворенного

воздушного газа, но никогда не достигают его. При смешении метеорных вод с горячим глубинным флюидом (теплоносителем) растворенные воздушные компоненты переходят в газовую фазу из-за падения растворимости газов с повышением температуры.

Таким образом, отношение  $O_2/N_2$  может служить показателем (и мерой) поступления метеорной воды в геотермальный резервуар. Примечательно, что здесь выделяются скважины, для которых характерны отношения  $[O_2/N_2]_{газ} : [O_2/N_2]_{воздуха} > 1$ , и скважины с более низкими значениями данного отношения. Так к первым можно отнести скважины 029W, 24, 016, A-2, 048, 013, 055. Скважина 049 отличается наиболее низкими отношениями  $O_2/N_2$  и для нее же присущи наиболее высокие величины содержания газа. Это можно интерпретировать как низкую роль метеорных вод и относительно высокую долю эндогенной составляющей в формировании газового состава теплоносителя данной скважины.

Приуроченность к определенным скважинам определенного уровня колебаний ве-

## ДИНАМИКА ГАЗОВОГО СОСТАВА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ МУТНОВСКОЙ ГЕОЭС В 2004 г.

личины  $O_2/N_2$  служит дополнительным подтверждением реальности процесса взаимодействия вод разного происхождения и указывает на влияние гидрогеологической обстановки на формирование состава газа.

В работе [1] по данным изотопных исследований показано, что вероятным источником метеорной воды может служить ледник Мутновского вулкана.

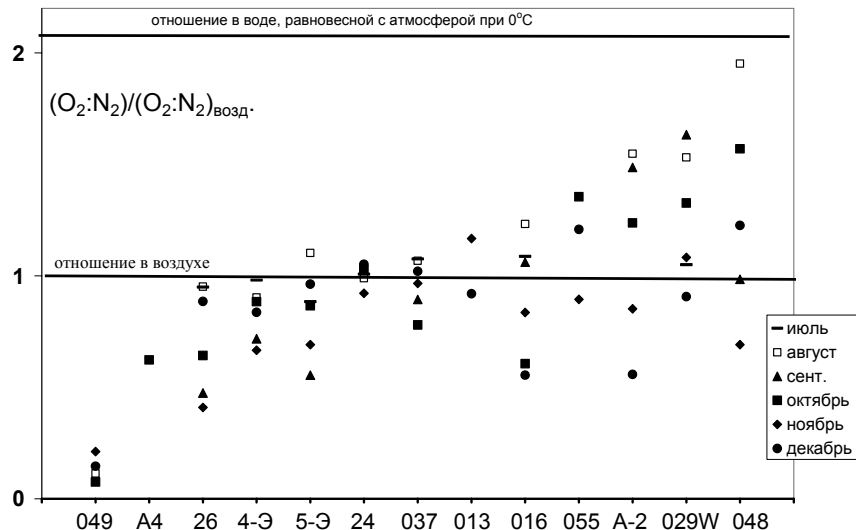


Рисунок 6 – Колебания отношения  $(O_2 : N_2) / (O_2 : N_2)_{\text{возд.}}$  в газе скважин Мутновской ГеоЭС

### ВЫВОДЫ

При, в целом, однотипном составе газа теплоносителя, среди скважин Мутновской ГеоЭС выделяются группы, различающиеся особенностями состава газа.

В течение изученного периода как на индивидуальных скважинах, так и в среднем по всем скважинам наблюдались тенденции в поведении газовой составляющей теплоносителя во времени: снижение доли газов и понижения в нем отношения  $CO_2/H_2S$ . Вероятно, комплекс этих данных отражает уменьшение доли эндогенной составляющей в теплоносителе. Однако короткий период наблюдений состава газа не позволяет сделать более определенные выводы.

Наблюдающиеся существенные вариации отношения  $O_2/N_2$  в газах как между скважинами, так и во времени отражают поступление метеорных вод в геотермальный резервуар: более высоким отношениям соответствует увеличение метеорной составляющей.

Таким образом, изучение газового режима скважин может служить дополнительным источником информации о гидрогеологической обстановке месторождения, что требует более продолжительного мониторинга состава газов и его увязки с другими параметрами (давлением на скважинах, температурой теплоносителя, структурным положением скважин и др.).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кирюхин А.В. и др. Исследование условий водного питания Мутновского геотермального месторождения с использованием данных по изотопии кислорода ( $^{18}O$ ) и водорода (D) // Вулканология и сейсмология, 1998, № 4-5. – С. 54-62.
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.
3. Чернев И.И. Результаты первого года (2003) эксплуатации Дачного участка Мутновского месторождения парогидротерм //Международный Геотермальный семинар. МГС-2004. Петропавловск-Камчатский, 2004. – С. 36.