

## **Результаты предварительных измерений термодинамических параметров на Верхне-Паратунской гидротермальной системе.**

*Кузьмин Ю.Д.*

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН .г.Петропавловск-Камчатский, kuzu@emsd.ru*

### **Введение.**

Взаимодействие магматического тепла, газов и подземных вод приводит к появлению характерных термоаномалий, выходящих на дневную поверхность. При определенных условиях в этих районах могут формироваться и горизонты термальных вод, приуроченные к фундаментам вулканических аппаратов и вулканотектоническим депрессиям, заполненным рыхлыми пирокластическими отложениями с покрывкой слабопроницаемых пород. Эти гидротермальные системы, с трещинно-пластовым и даже порово-трещинным характером циркуляции в гидродинамическом отношении являются малыми артезианскими бассейнами и артезианскими склонами, разгрузка которых проходит по зонам разломов. [1] Разломы разного заложения делят Камчатку на разноранговые блоки. Водонасыщенные подземной гидросферой межблочные прослойки, имеющие глубины соответствующие тектонической деятельности литосферы региона и состоящие из водопроницаемых трещинно-пластовых и порово-трещинных систем, будут нести информацию обо всех процессах в данной среде. Организация высокочувствительных наблюдений за изменениями температуры, давления и концентрацией растворенных газов в потоке термальной воды из глубоких скважин, обсаженных ниже водоупорного слоя или слоя самоизоляции гидротермальной системы (эндогенная составляющая), помогут нам увидеть динамику деформационных процессов в регионе. Динамика деформационных процессов определенным образом будет зависеть от изменяющегося глубинного теплового потока и внешних воздействий: метеорологических, гравитационных, электромагнитных, геодинамических и др. Полигоном для газотермодинамических наблюдений в водонапорных термальных скважинах выбрана Верхне-Паратунская гидротермальная система (ВП ГТС), которую можно представить, как природный объемный деформограф.

### **Описание ВП ГТС и скважин К-88 и ГК-37.**

Описание Верхне-Паратунской гидротермальной системы и используемых для наблюдений скважин сделано на основании отчетов [4,3]. Верхне-Паратунское гидротермальное месторождение или Верхне-Паратунская гидротермальная система (ВП ГТС) относится к низкотемпературной гидротермальной системе и расположена в южной части Камчатки (Рис-1). Район расположен в пределах восьмибальной зоны сейсмического районирования у границы с девятибальной зоной, которая проходит по долине р. Паратунки. Землетрясения силой 7-8 баллов здесь крайне редки. Землетрясения силой 2-4 балла отмечаются довольно часто от 5 (1971 г.) до 23 раз (1976 г.) в год. Землетрясения в данном районе относятся к поверхностному типу с глубиной гипоцентров до 50 км. Площадь месторождения составляет примерно 30 км<sup>2</sup>. В центре месторождения, к западу от долины р. Паратунки возвышается липаритовый экструзивный купол сопки Горячей с абсолютной отметкой 721,4 м. На Верхне-Паратунском месторождении пробурено 45 скважин разной глубины. Все 45 скважин в пределах месторождения вскрыли термальные воды различные по температуре и химсоставу. В геолого-структурном плане ВП ГТС относится к вулканокупольным структурам и расположена в зоне пересечения двух сложно построенных депрессионных структур, получивших название Паратунского и Карымшинского грабенов и образованных блоковыми подвижками в четвертичное время. В геологическом строении ВП ГТС принимают участие в различной степени дислоцированные вулканогенно-осадочные эффузивные и интрузивные образования палеоген-неогенового возраста с перекрывающей их толщей четвертичных отложений

мощностью до 150 – 190 м. Разрывная тектоника представлена многообразными разломами, что создает сложную блоковую структуру коренных пород, определяет и контролирует термальную деятельность ВП ГТС.

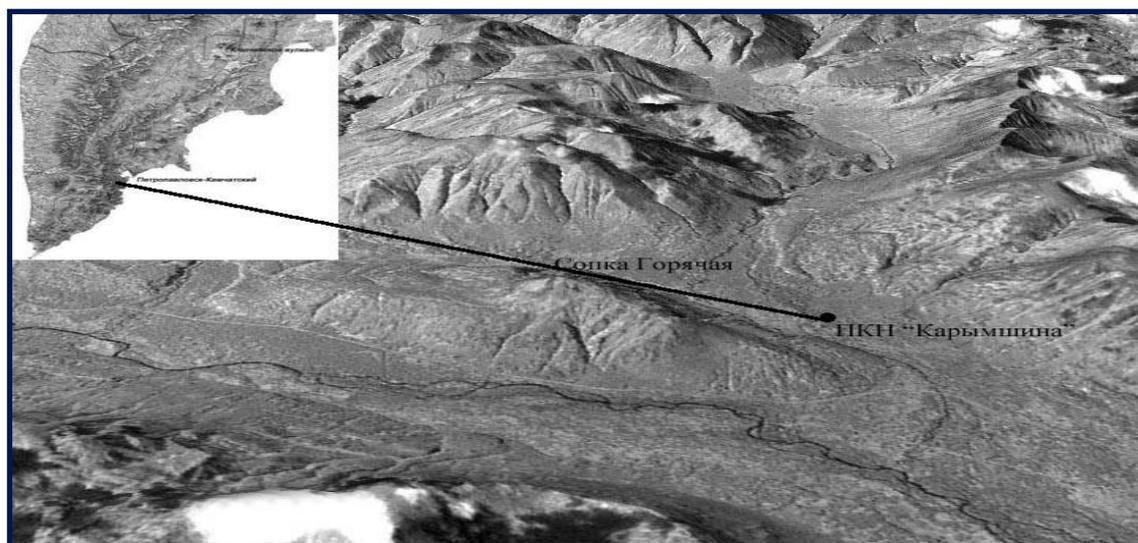


Рис 1. Месторасположение ВП ГТС и пункта комплексных наблюдений «Карымшина».

В региональном плане Верхне-Паратунская гидротермальная система расположена в зоне пересечения трех разноранговых разломов: Паратунско-Асачинского грабена, предположительно имеющего мантийное заложение; Вилючинского линейamenta, секущего ВП ГТС с Ю-В на С-З и современных трех разломов, отчетливо просматриваемых на сопке Горячей.

Водовмещающими породами для термальных вод являются палеоген - неогеновые вулканогенные и вулканогенно - осадочные образования, а также диориты, кварцевые диориты, гранодиориты раннемиоценовой интрузии. Роль относительного водоупора выполняют породы верхней части термовмещающего комплекса, обладающие низкой проницаемостью и слабой обводненностью. Разгрузка термальных вод образует локальные участки термоаномалий, которые контролируются структурно-тектоническими условиями. Для всех термальных вод ВП ГТС характерен трещинно- жильный тип циркуляции с высоким избыточным напором и сложной конфигурацией пьезометрической поверхности. Мощность водоупорной толщи (до появления самоизлива) составляет 24 – 425 м, преимущественно 100 – 350 м. До глубин 400 м, реже 600 м и более отмечается низкая проницаемость. Максимальный прирост дебита большинства скважин отмечается в интервале глубин 550 – 850 м, что позволяет высказать предположение о том, что на данном интервале глубин наблюдается активная трещинно-жильная циркуляция термальных вод имеющих разную температуру. С глубин 1000 м, проницаемость и дебит уменьшаются. Обводненные трещинные зоны вскрывались скважинами на различных глубинах: от 32 – 101 м до 1670 м. Мощность зон колеблется от первых десятков см, до нескольких десятков метров. Зоны водопритоков разделены между собой необходимыми интервалами мощностью от десятков до первых сотен метров. В этих интервалах встречаются как открытые (зияющие) трещины шириной до 0.5 – 0.7 см, так и закрытые, заполненные минеральными новообразованиями. Иногда наблюдаются каверны размером до 1-2 см. Минерализация термальных вод ВП ГТС варьирует от 278 мг/л до 2468 мг/л. Химический состав гидротерм преимущественно сульфатный Са– Na, в отдельных случаях Na – Са. Термальные воды относятся к азотным щелочным водам, что говорит об их глубинном происхождении. Ионный солевой состав вод формируется в результате выщелачивания разнообразных вулканических и вулканогенно-осадочных пород, а условия циркуляции определяют набор микроэлементов, генетически связанных с глубинными эманациями, поступающими по

молодым глубинным тектоническим разломам. Т.о. особенности терм ВП ГТС увязываются с геологической структурой и динамикой вод в тектонических структурах.

Грунтовые воды, несмотря на интенсивный водообмен и низкую  $T = 3 - 5$  град С, не оказывают охлаждающего влияния на термальные воды, циркулирующие под водоупорной толщей, поэтому можно полагать, что водоупорные породы выполняют функцию теплоизолятора. Верхняя зона годовых теплооборотов распространяется до глубин 23 м. Сезонность в изменении устьевых температур опытных скважин и средневзвешенной температуры воды не зафиксирована. Из 45 скважин, пробуренных на ВП ГТС, две оказались в зоне восходящего теплового потока. Это скважины К-88 и ГК-37. После опытного эксплуатационного выпуска эти скважины имели следующие характеристики Таблица 1

Таблица 1. Характеристики скважин К-88 и ГК-37 Верхне-Паратунской гидротермальной системы.

Скважины	Глубина, м	Температура на устье, град С	Температура на забое, град С.	Дебит самоизлива, л/с	Презометрический уровень, м	Абсолютная высота, м	Обсадка, м диаметр/глубина
К - 88	815	88,6	105.7/815	24,3	98,8	99,1	108/254
ГК-37	1757	95,0	104/1685	7,7	48,4	98,6	127/605

Скважина ГК-37 вскрыла 2 гидрогеологических яруса. Первый ярус, с грунтовыми водами, приурочен к интервалу 0-92 м, сложенному разновозрастными гравийно-галечными отложениями различного генезиса. Продуктивная зона приурочена ко второму гидрогеологическому ярусу и залегает в интервале 933.0 – 1669.0 м, при общей мощности зоны до 736 м. Этот гидрогеологический ярус приурочен к толще вулканогенно-терригенных образований верхнеолигоценового – нижнемиоценового возраста и вулканогенно интрузивных пород, рвущих отмеченные образования на глубинах 1375 – 1420 м. По окончании бурения ГК-37 на поверхность выведены термальные воды с дебитом 20 л/с (при одиночном опробовании) и температуры на устье 95 -98 град С. Избыточное давление на устье равно 10 атм. Конструкция скважины ГК-37 по окончании бурения трехколонная с полным цементажом затрубного пространства между колоннами. В интервале глубин 645.0 – 1757.0 м ствол скважины обсадными трубами не закреплен.

### Результаты наблюдений

В рамках проводимой темы «Исследование реакции гидротермальной системы (геохимических и термодинамических параметров) на геофизические воздействия в сейсмоактивных регионах Камчатки» на пункте комплексных наблюдений «Карымшина» на скважине К-88 в 2007 г. были начаты наблюдения за изменениями термодинамических параметров. Система наблюдений и регистрации за термодинамическими параметрами потока термальной воды на устье скважины была разработана и изготовлена в КФ ГС РАН группой геофизических наблюдений, под руководством Воропаева В.Ф. Пример записи с 2007 по 2009 показан на Рис 2.

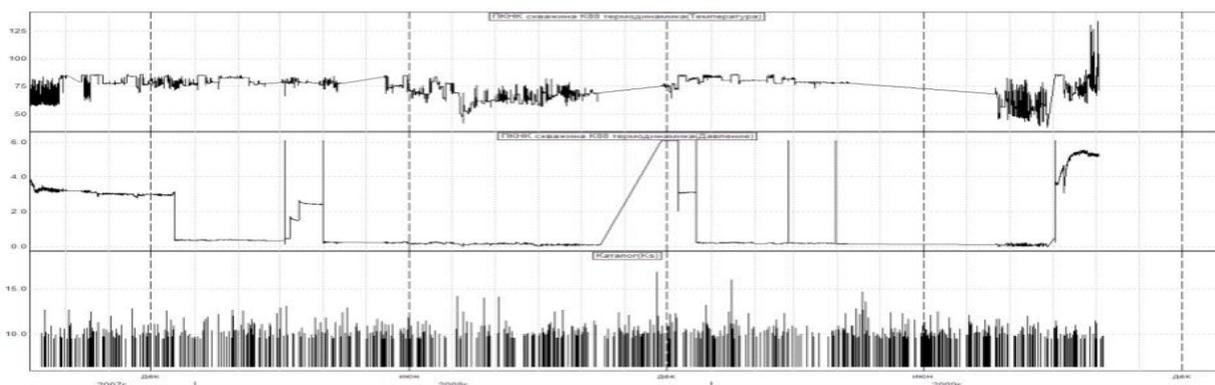


Рис 2. Запись термодинамических параметров скважины К – 88 на устье.

Первый ряд – температура (град С); второй ряд – давление (атм); третий ряд – сейсмичность Камчатки.

Результаты наблюдений и их анализ показал, что система регистрации температуры и давления на устье скважины К-88 работает хорошо, но скважину К-88 для проведения высокочувствительных наблюдений за термодинамическими параметрами с целью контроля деформаций ВП ГТС использовать нельзя. Скважина К-88 используется для производственно-технических нужд стационаров ИКИР ДВО РАН и КФ ГС РАН. Любое изменение потока термальной воды в системе отбора, вызванное производственной деятельностью на стационарах, приводило к изменению параметров на устье скважины, т.е «человеческому фактору», который практически не поддается контролю. [2]

В 2012 г. наконец-то, было получено разрешение на разбуривание законсервированной скважины ГК-37. В июле 2012 года скважина была разбурена и на ней была установлена система регистрации температуры и давления, демонтированная со скважины К-88. Скважина ГК-37 проходила период стабилизации параметров примерно в течении одного года. Примеры записи термодинамических параметров на скважине ГК-37 показаны ниже.

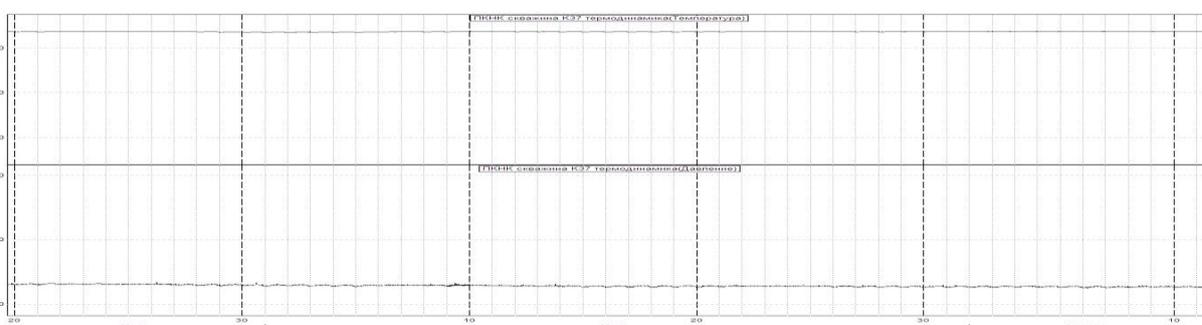


Рис 3 Запись термодинамических параметров скважины ГК-37 июнь – август 2013 г.

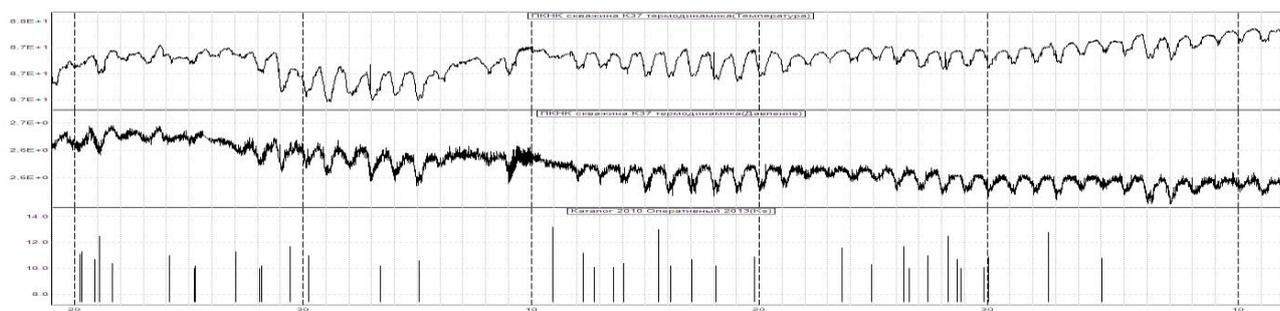


Рис 4 Показаны флуктуации температуры и давления на скважине ГК-37 июнь – август 2013 г.

Верхний ряд – изменение температуры в потоке воды на устье скважины; средний ряд – изменение давления на устье скважины; нижний ряд - сейсмичность Камчатки.

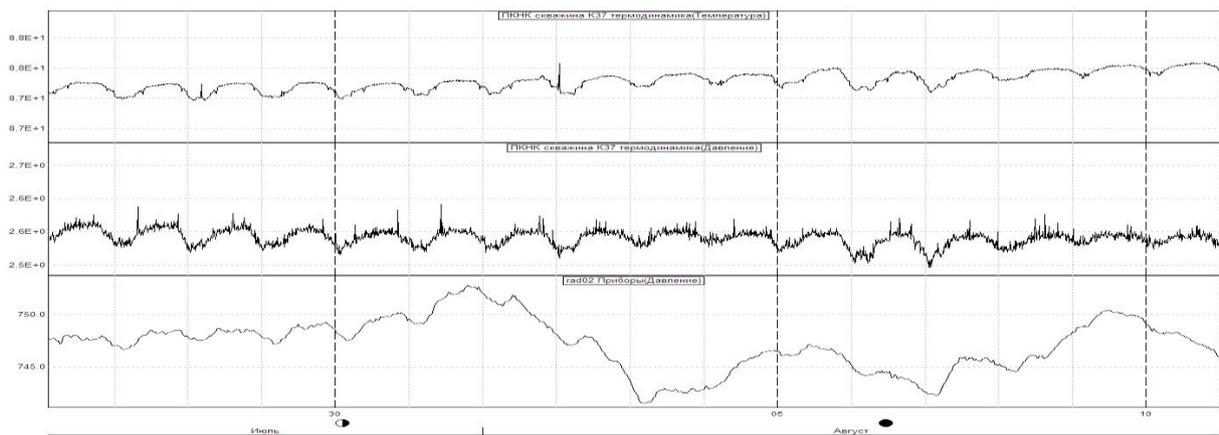


Рис 5 Показаны околосуточные флуктуации температуры – град С (верхний ряд), давления (атм.) – второй ряд, атмосферного давления (мм.рт.ст), фаз Луны.

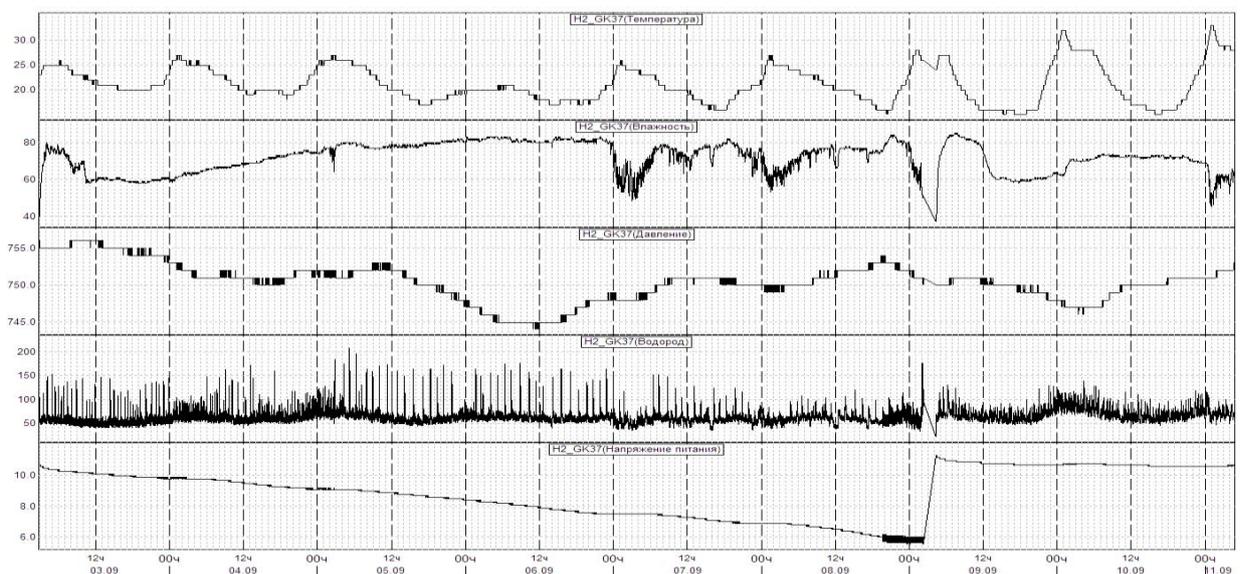


Рис 6 Пример регистрации водорода на устье скважины ГК-37. Водород регистрировался датчиком TGS-821 фирмы FIGARO. Забор пробы из отводной трубы на сливе осуществлялся с помощью микронасоса, который прокачивал пробу через климатическую камеру регистратора. Первые три ряда данные климатической камеры: верхний ряд – температура (град С), второй ряд – влажность (%), третий ряд – давление (атм.) четвертый ряд – изменение концентрации водорода (  $\Pi \times 10^{-4}$  об. %), нижний ряд – напряжение питания регистрирующей системы.

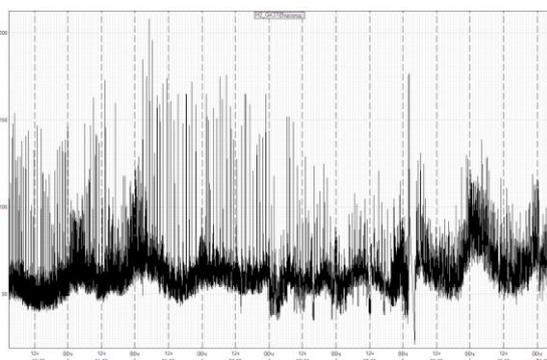


Рис Секундная регистрация концентрации H2

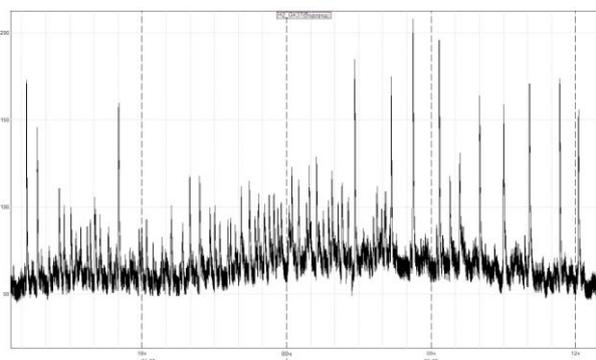


Рис Минутная регистрация концентрации H2

**Заключение.**

Проведенные работы на скважине ГК-37 показывают, что система регистрации и передачи данных регистрирует флуктуации температуры и давления с чувствительностью до одной сотой регистрируемого параметра, что позволяет регистрировать околосуточные приливные деформации в подземной гидросфере. Это является достаточным условием для проведения режимных работ с целью определения изменений теплового потока и геодинамического напряжения гидротермальной системы, в зависимости от внешних воздействий на нее и физико-химических процессов в ней. Информация о флуктуациях давления, температуры и концентрации газов в потоке термальной воды из глубокой напорной термальной скважины может быть определяющей для понимания механизма изменений эндогенного теплового и газового потока и связанного с ними напряженно-деформационного поля ВП ГТС. Постановка данных наблюдений соответствует выводам ( Войтова Г.И., Кисина И.Г., Султанходжаева Ф.Н., Корценштейна В.Н., Летникова Ф.А., Д. Г. Осика и др) которые отмечают, что геохимические (ГХ), гидрогеодинамические (ГГ), геотермальные (ГТ) аномалии в приповерхностных отложениях в связи с сейсмичностью формируются, преимущественно, за счет субвертикальной миграции глубинных флюидов и тепла с последовательной мобилизацией флюидов кристаллического и метаморфического фундамента и осадочного чехла, формируя в приповерхностных отложениях очень сложные по-своему химическому составу смеси флюидов, отражающие локальную и региональную геохимическую зональность. Этот тезис можно проверить только с помощью прямых измерений и с последующим одновременным мониторингом нескольких газов на природном объекте. При правильной организации газотермодинамических наблюдений за флуктуациями эндогенной составляющей на ВП ГТС с достаточной частотой опроса, можно получить новую информацию, как о реакции термоградиентной системы, в нашем случае ВП ГТС (природного объемного деформографа) на внешние воздействия, так и о процессах подготовки напряженно-деформируемой геологической среды Южной Камчатки к сильному сейсмическому событию.

#### **Литература к статье**

1. В.И.Кононов. Геохимия термальных вод областей современного вулканизма (рифтовых зон и островных дуг). М.: Наука, 1983, 216с
2. Кузьмин Ю.Д Газотермодинамические наблюдения на гидротермальных системах Камчатки. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Второй региональной научно-технической конференции 11-17 октября 2009 г. Петропавловск-Камчатский, ГСРАН, 2010. 392с 273-278.
3. В.Г.Охапкин. Пакет геологической информации по Верхне-Паратунскому месторождению термальных вод. 1997. Петропавловск-Камчатский, Камчатгеолгом.
4. Смирнова Н.Ф. и др. Сводный отчет о результатах поисково-разведочных работ на Верхне-Паратунском месторождении термальных вод, проведенных в 1966 – 1980 гг. с подсчетом эксплуатационных запасов по состоянию на 17 мая 1980г. КТГУ, 1980.