

УДК 550.3+550.4

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ И ГАЗОВЫЙ МОНИТОРИНГ ВЕРХНЕ-ПАРАТУНСКОЙ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С ЦЕЛЬЮ ИЗУЧЕНИЯ ЕЕ ОТКЛИКА НА ВНЕШНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Кузьмин Ю.Д.¹, Руленко О.П.²

¹ Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, kuzy@emsd.ru

² Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Введение

Проблема взаимодействия геохимических и геофизических полей и выяснение роли воздействия геофизических полей на изменения геохимических параметров активной геологической среды в виде отклика, интересует исследователей давно. Как правило, наиболее контрастно изменение геохимических параметров среды происходит в термоградиентной флюидодинамической системе под действием вариаций геофизических полей разнообразной природы в разломных зонах, приуроченных к сейсмоактивным регионам. К таким средам можно отнести и гидротермальные системы.

Постановка проблемы и выбор места наблюдений

Целью данной работы является: 1 – выяснить особенности реакции гидротермальной системы (ГТС), как объемного деформографа, на внешние воздействия – лунно-солнечные приливы, метеорологические и электромагнитные поля солнечного происхождения и др.; 2 – определить связь вариаций различных геофизических полей в зоне этого термодинамического флюидонасыщенного аномального объема пород в сейсмоактивном регионе и оценить возможность создания методики краткосрочного прогноза землетрясений. Комплексирование различного типа предвестников повышает надежность прогноза, так как ни один из известных видов не свободен от ложных аномалий и не все они проявляются перед конкретными землетрясениями. Поэтому важной особенностью работ по данной проблеме является междисциплинарность исследований, что подтверждается опытом работ многих исследователей.

Изменяющиеся космические факторы приливного (переменные гравитационные поля Солнца и Луны) и неприливного (электромагнитные взаимодействия солнечного излучения и корпускулярных потоков с магнитным полем Земли) характера приводят к изменениям, которые проявляются в изменениях: скорости вращения Земли; в геомагнитных пульсациях магнитного поля Земли; в электрических полях Земли; в атмосферных процессах, а также, связанного с этими изменениями, тектонического режима планеты. Тектоническим откликом на эти воздействия рассматривают активизацию сейсмических очагов и сейсмоактивных разломов. Активизация сейсмических процессов предполагает изменения гидрогеологических, термодинамических, газогидрохимических и электромагнитных параметров активной геологической среды региона, в нашем случае – гидротермальной системы, которая характеризуется повышенными термодинамическими, газогеохимическими, электрокинетическими и др. параметрами, что позволяет ей воспринимать, аккумулировать и реагировать на внешние воздействия любой природы, в виде изменений внутренних параметров. Такую среду можно представить в виде природного объемного деформографа [1]. Это согласуется с исследованиями японских ученых, которые получали данные о деформациях земной коры с помощью скважинных деформографов, предназначенных для измерения объемных деформаций [2]. Информацию о готовящемся землетрясении, мы получаем в виде реакции гидротермальной системы и вмещающих ее пород на региональные геодинамические воздействия, и воздействия со стороны очага землетрясения, которые изменяют напряженное состояние среды. Эта перестройка будет сопровождаться изменениями сейсмического режима, в широком диапазоне частот, газохимических, геофизических и термодинамических параметров гидротермальной системы, за которыми можно вести синхронный мониторинг в пункте наблюдения. Местом проведения работ была выбрана Верхне-Паратунская гидротермальная система. (ВП ГТС).

Описание Верхне-Паратунской гидротермальной системы и используемых для наблюдений скважин сделано на основании отчета [6]. Верхне-Паратунская гидротермальная система (ВП ГТС) относится к низкотемпературной гидротермальной системе и расположена в южной части Камчатки. В геолого-структурном плане ВП ГТС относится к вулcano-купольным структурам и она

расположена в зоне пересечения двух сложно построенных депрессионных структур, получивших название Паратунского и Карымшинского грабенов, образованных блоковыми подвижками в четвертичное время. Район находится в восьмибальной зоне сейсмического районирования у границы с девятибальной зоной, которая проходит по долине р. Паратунки. Происходящие здесь землетрясения относятся к землетрясениям с глубиной гипоцентров до 50 км. Площадь месторождения составляет примерно 30 км². В центре месторождения возвышается липаритовый экструзивный купол сопки Горячей. 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.

На ВП ГТС пробурено 45 скважин разной глубины. Все 45 скважин в пределах месторождения вскрыли термальные воды различные по температуре и химсоставу. Из них 2 скважины К-88 и ГК-37 попали в зону восходящего теплового потока. По химическому составу воды преимущественно маломинерализованные ($M_{об} = 0.8–1.25$ г/л). Газовый состав, при незначительной газонасыщенности, довольно однообразен – азотный (более 92 % азота). Температурный режим ВП ГТС практически постоянный. Подавляющее число водопроводящих трещин относится к молодым разломам и оперяющим их тектоническим нарушениям. Скважины, вскрывшие такие зоны и трещины, имеют высокую производительность и обладают высокими пьезометрическими напорами (до 106–110 м). Мощность водоупорной толщи (до появления самоизлива из скважины) составляет 24–423 м, преимущественно 100–350 м. Нижняя граница выделенной толщи залегает на глубине 64–586 м. Обводненные трещинные зоны вскрывались скважинами на различных глубинах от 32–101 м до 1670 м. Зоны водопритоков разделены между собой необходимыми интервалами мощностью от десятков до первых сотен метров. В целом на ВП ГТС до глубины 400 м, реже 600 м и более, наблюдается низкая проницаемость трещинных зон. Максимум прироста дебита большинства скважин отмечен в интервале 400–1000 м. Проницаемые обводненные зоны встречаются только в тектонически ослабленных зонах. Верхняя зона годовых теплооборотов распространяется до глубин 23 м. Снижение T с глубиной, также как и на изливе, связано с уменьшением интенсивности циркуляции гидротерм вследствие уменьшения их производительности. Грунтовые воды, несмотря на интенсивный водообмен и низкую температуру (3–5 °С), не оказывают охлаждающего влияния на термальные воды, циркулирующие под водоупором.

Полученные результаты

На Карымшинском пункте наблюдения, проводятся наблюдения за термодинамическими и газохимическими параметрами гидротермальной системы. Газохимические наблюдения за радоном и тороном ведутся в почвенном слое и в 4 м сухой скважине с помощью сейсмо-радоновых станций СРС-1, ООО МТМ Защита. Термодинамические параметры ГТС контролируются глубокой скважиной ГК-37 с помощью измерительной системы, разработанной и изготовленной Воропаевым В.Ф. Измерительная система установлена на устье самоизливающейся скважине и позволяет регистрировать изменения давления и температуры с 10 минутным интервалом и чувствительностью одной сотой измеряемого параметра. Данные измерений хранятся в накопителе, с которого затем снимаются и обрабатываются. Пример записи приведен на рис. 1. Четкая запись околосуточных изменений в измерениях давления и температуры скважины ГК-37 указывают на то, что данный подход к регистрации термодинамических параметров гидротермальной системы, как природного объемного деформографа, является высокочувствительным и достаточным для постановки режимных наблюдений. Возможный сбой околосуточных колебаний температуры и давления может быть следствием изменения напряженного состояния среды ГТС за счет лунно-солнечных, метеорологических, геодинамических и глубинных тепловых воздействий. Выяснить механизм околосуточных колебаний и нарушение их регулярности еще предстоит, ибо известные модели взаимодействий и их реакций не подходят.

Скважина ГК-37. Продуктивная зона залегает в интервале 933–1660 м при общей мощности зоны до 736 м. Гидрогеологический ярус приурочен к толще вулканогенно-терригенных образований верхнеплиоцен-нижнемиоценового возраста и вулканогенных интрузивных пород, рвущих (1375 – 1420 м) отмеченные образования. $T = 95–98$ °С. $P = 10$ атм. Обсадка до 645 м, при общей глубине 1757 м. Абсолютная отметка устья скважины ГК-37 расположена на высоте 98.6 м. относительно уровня моря

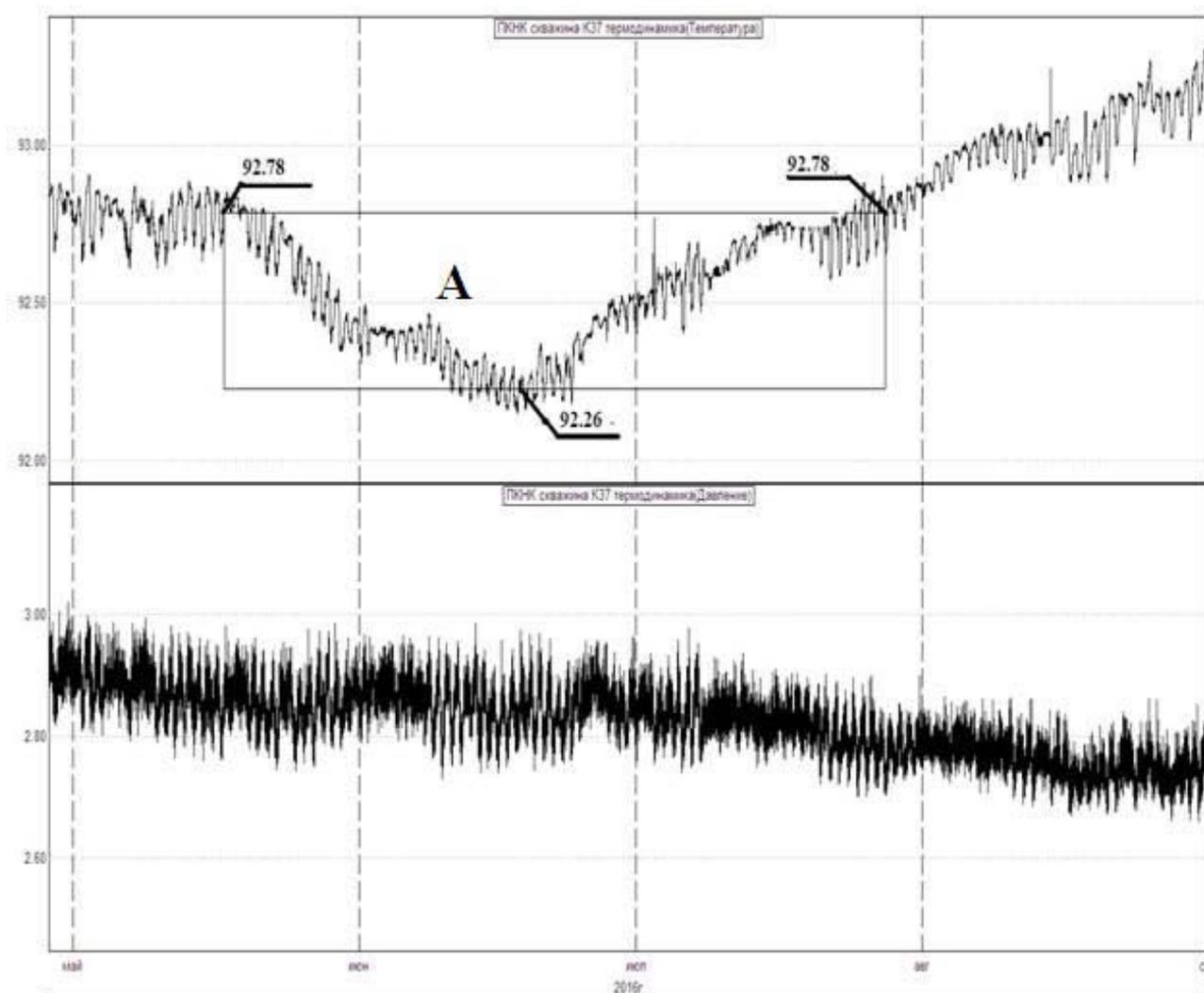


Рис. 1. Пример синхронной записи температуры (верхний график) и давления (нижний график) термальной воды на устье скважине ГК-37 с мая по сентябрь 2016 г. А – падение температуры в ГТС за счет таяния снега.

Сезонный период таяния снега визуально просматривается на всех графиках температуры (пример – верхний график рис.1) за время регистрации с 2016 г. по 2019 г. Следовательно, можно примерно оценить уменьшение температуры верхней части ГТС и период воздействия талых вод на ГТС.

	2016	2017	2019
Начало таяния	170516 T= 92.78C	080517 T=93.47C	210519 T=97.89 C
Максим падение T	180616 T= 92.26 C	140617 T=92.56C	020619 T=97.39C
Восстановленная T	250716 T= 92.78C	211017 T= 93.47C	090719 T= 97.89C
Длительность таяния/восстановления (дней)	33/68	37/129	13/37
Разница температур	0.5 C	0.91 C	0.5 C

Приведенные данные указывают на незначительное влияние климатических факторов на ГТС, разные периоды воздействия холодных вод и восстановления температурного режима ГТС.

В конце 2018 г. на скважине ГК-37 были проведены профилактические работы, в результате которых повысили давление в измерительной системе, установленной на устье скважины, за счет чего повысился расход термальной воды и, следовательно, температура воды.

Для выяснения причины околосуточных флуктуаций был проведен спектрально-временной анализ колебаний температуры и давления, который показал, что околосуточные колебания имеют всего одну солнечную компоненту равную 23.76 часа (рис. 2).

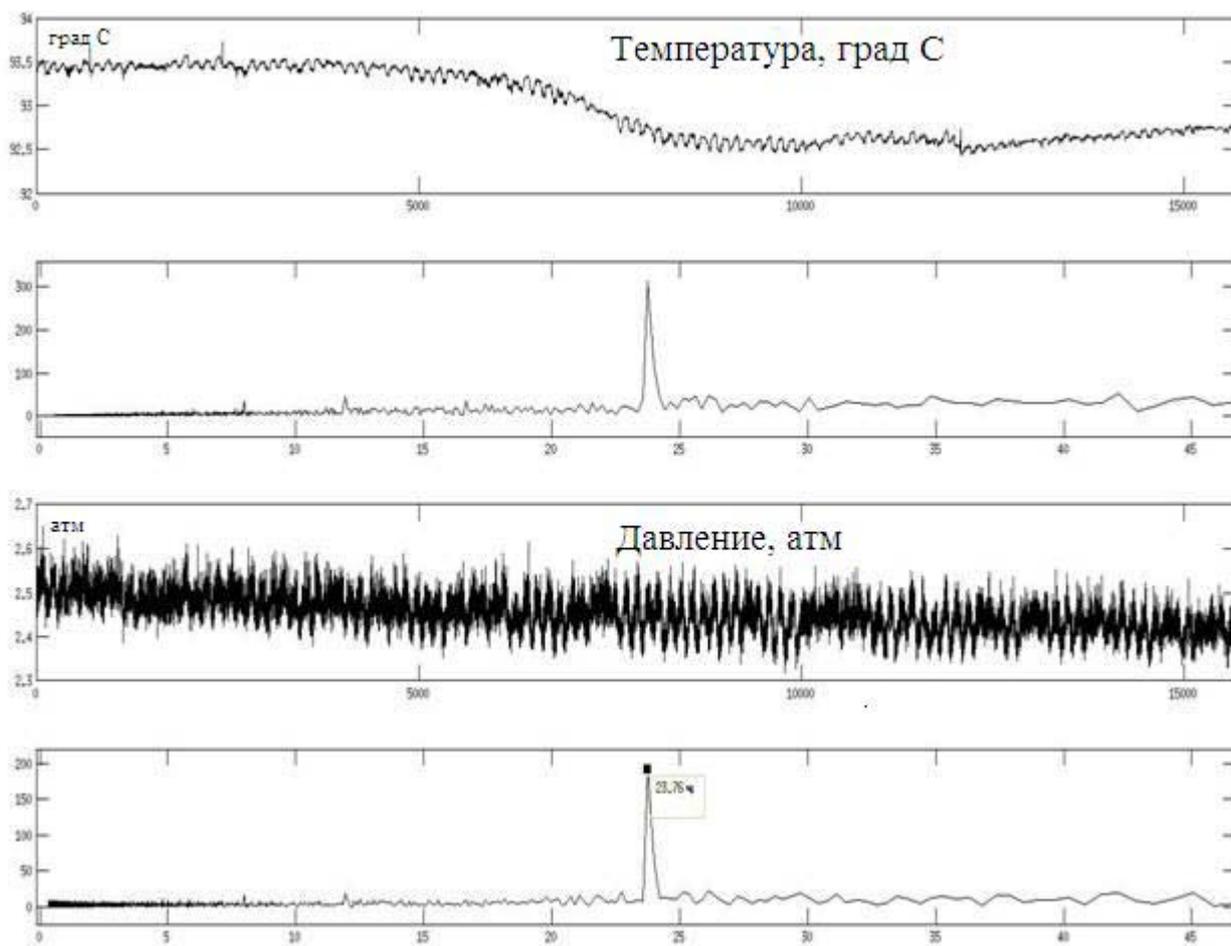


Рис. 2. Спектрально-временной график околосуточных термодинамических колебаний в скв ГК-37

Данные мониторинга радона и торона в 4 м скважине, кроме режимных наблюдений, использовались для комплексного анализа совместных наблюдений с ИВиС ДВО РАН (атмосферное электричество) и ИКИР ДВО РАН (геоакустика). В результате комплексных работ были получены интересные результаты, которые были опубликованы.

Так в [4] представлены результаты проведенных впервые совместных измерений объемной активности радона и торона в подпочвенном газе (4 м сухая скважина) и в воздухе у поверхности земли. Измерения совпали во времени с периодом подготовки и моментом катастрофического землетрясения в Японии, произошедшего 11 марта 2011 г. на расстоянии 2000 км от пункта наблюдений. За 44.7 суток до землетрясения появились аномальные увеличения объемной активности радона и торона в подпочвенном газе, а затем в воздухе. Они продолжались 24.9 суток. Рассмотрены особенности и причины этих увеличений.

Совместные работы – геофизической службы РАН, ИВиС ДВО РАН и ИКИР ДВО РАН, проводимых на пункте комплексных наблюдений «Карымшина» геофизической службы РАН и полевом стационаре ИКИР ДВО РАН в районе Верхне-Паратунской гидротермальной системы, позволили расширить объем получаемой информации и сделать некоторые новые выводы о процессах взаимодействия газохимических и геофизических полей, атмосферного электрического поля и геоакустической эмиссии. В [5] было показано, что увеличение концентрации радона и торона в поверхностном слое грунта сопровождается уменьшением атмосферного электрического поля у поверхности земли с одновременным возмущением высокочастотной геоакустической эмиссии. Наиболее вероятной причиной уменьшения электрического поля, происшедшего вместе с геоакустическим возмущением, является более сильное поступление радона и торона в атмосферу в результате увеличения скорости растяжения приповерхностных осадочных пород при сейсмотектоническом процессе. Итогом данных работ явилась статья [6] в которой на основании обобщения и анализа, имеющихся в литературе результатов теоретических исследований и натурных наблюдений рассмотрена возможность совместного возмущения геоакустической эмиссии, радона,

торона, и атмосферного электрического поля перед землетрясением и предложена схема образования такого возмущения.

Графики мониторинга радона/торона, в холодной артезианской скважине, на стационаре ИВиС ДВО РАН, расположенной на Средне-Паратунской ГТС, резко отличаются от графиков мониторинга на пункте Карымшина. Это отличие предстоит объяснить.

Заключение

Проводимые работы на Верхне-Паратунской гидротермальной системе показали правильность использования многодисциплинарного подхода для понятия процессов взаимодействия геофизических и геохимических полей над аномальной средой – гидротермальной системой, расположенной в пересечении разноранговых разломов и которую можно использовать в качестве природного объемного деформографа. Уже сейчас наблюдения за термодинамическими флуктуациями температуры и давления в глубокой скважине ГК-37 могут дать неожиданно новый и интересный материал для развития дальнейших совместных многодисциплинарных наблюдений. Таким образом, можно сделать вывод, что для отработки методики краткосрочного прогноза землетрясений, необходимо решать данную проблему комплексно, используя кроме общепринятых методик и методов, синхронные наблюдения за радон/тороном, геоакустикой и атмосферным электричеством в тензочувствительных точках сейсмоактивных регионов, с использованием гидротермальных систем в качестве объемных деформографов.

Недостатком проводимых данных работ в настоящее время является очень старое оборудование, которое практически не поддается ремонту и замене, что усложняет проведение непрерывных режимных наблюдений.

Список литературы

1. Кузьмин Ю.Д. Реакция подземной гидросферы на деформационные процессы в литосфере Земли. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Четвертой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 29 сентября – 5 октября 2013. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 69–74.
2. Асада Т., Исигаси К., Матсуда Т., и др. Методы прогноза землетрясений. Их применение в Японии / Под ред. Т.Асада. Пер. с англ. М.: Недра, 1984. 312 с.
3. 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 1980 г. КГТУ, 1980.
4. Руленко О.П., Кузьмин Ю.Д. Увеличение радона и торона в районе Верхне-Паратунской гидротермальной системы Южной Камчатки перед катастрофическим землетрясением в Японии 11 марта 2011 г. // Вулканология и сейсмология. 2015. № 5. С. 36–42.
5. Руленко О.П., Марапулец Ю.В., Кузьмин Ю.Д. О причине одновременного появления возмущений атмосферного электрического поля и высокочастотной геоакустической при сейсмотектоническом процессе // ДАН. 2015. Т. 461. № 3. С. 333–337.
6. Руленко О.П., Марапулец Ю.В., Кузьмин Ю.Д., Солодчук А.А. Совместное возмущение геоакустической эмиссии, радона, торона и атмосферного электрического поля по данным наблюдений на Камчатке // Физика Земли. 2019. № 5. С. 76–86.