

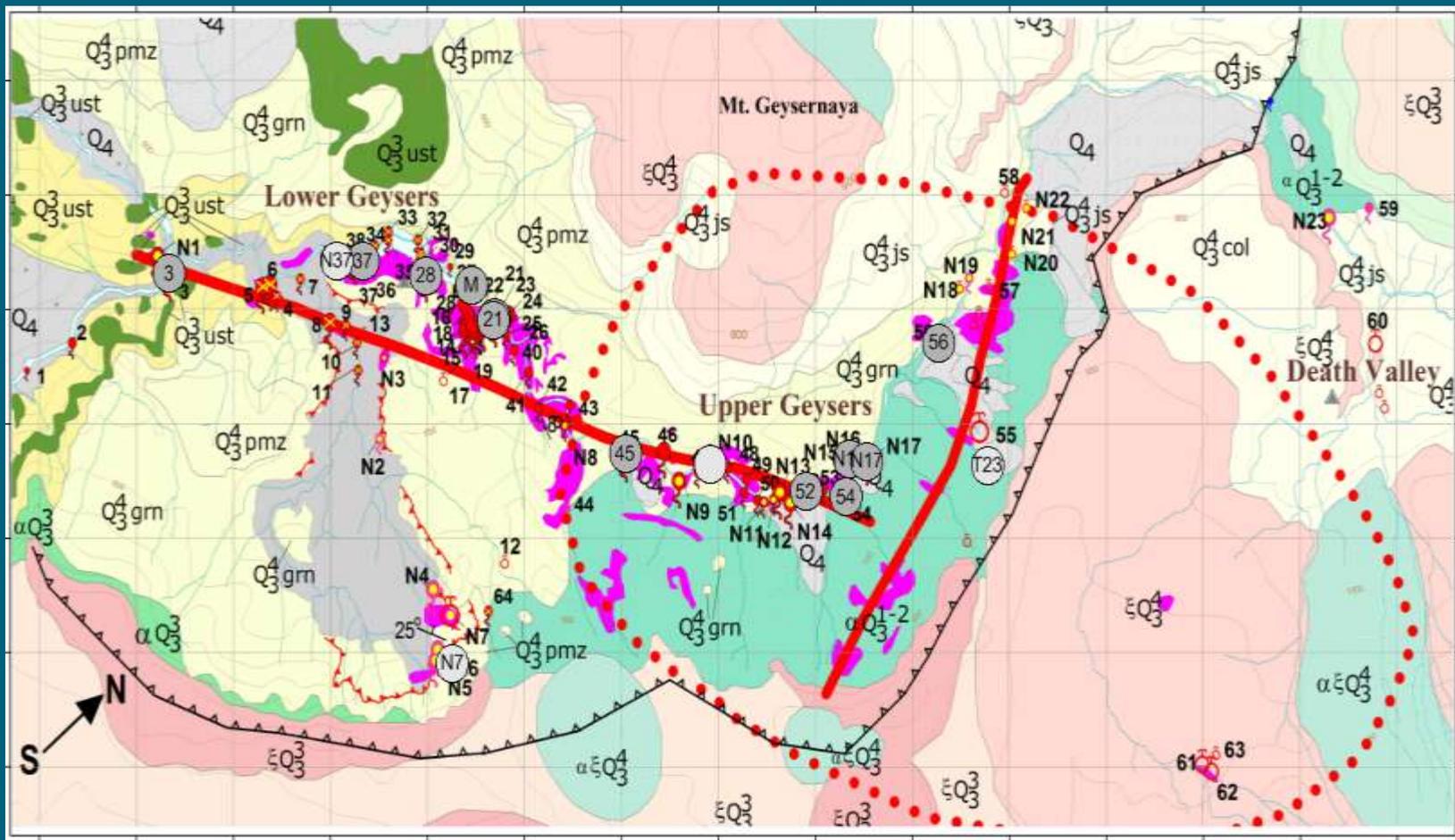
**ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО
РЕЖИМА ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
ДОЛИНЫ ГЕЙЗЕРОВ (КРОНОЦКИЙ
ЗАПОВЕДНИК, КАМЧАТКА) ПОСЛЕ
КАТАСТРОФЫ 3.06.2007**

Кирюхин А.В., Рычкова Т.В.





С июля 2007 г. осуществляется непрерывный мониторинг гидрогеологического режима с целью выявления динамики изменений после катастрофического оползня 3.06.2007 на гейзерах Великан, Большой, Подпрудном Озере, дискретное опробование девяти основных режимных гейзеров и источников (Первенец, Аверий, Трубы, Верхний, Хлоридный, N16 и N17 – кипящие источники, обнаруженные после 3.06.2007; Кислый Котел, Младенец (Крепость), N 37 (кипящий источник на уресе озера, возникший после оползня) и 3х дополнительных источников (Т23 – источник в верховьях р. Теплый, N7 – источник в зоне отрыва оползня и пульсирующий высокодебитный источник в месте впадения р. Игрушка в р. Гейзерную).

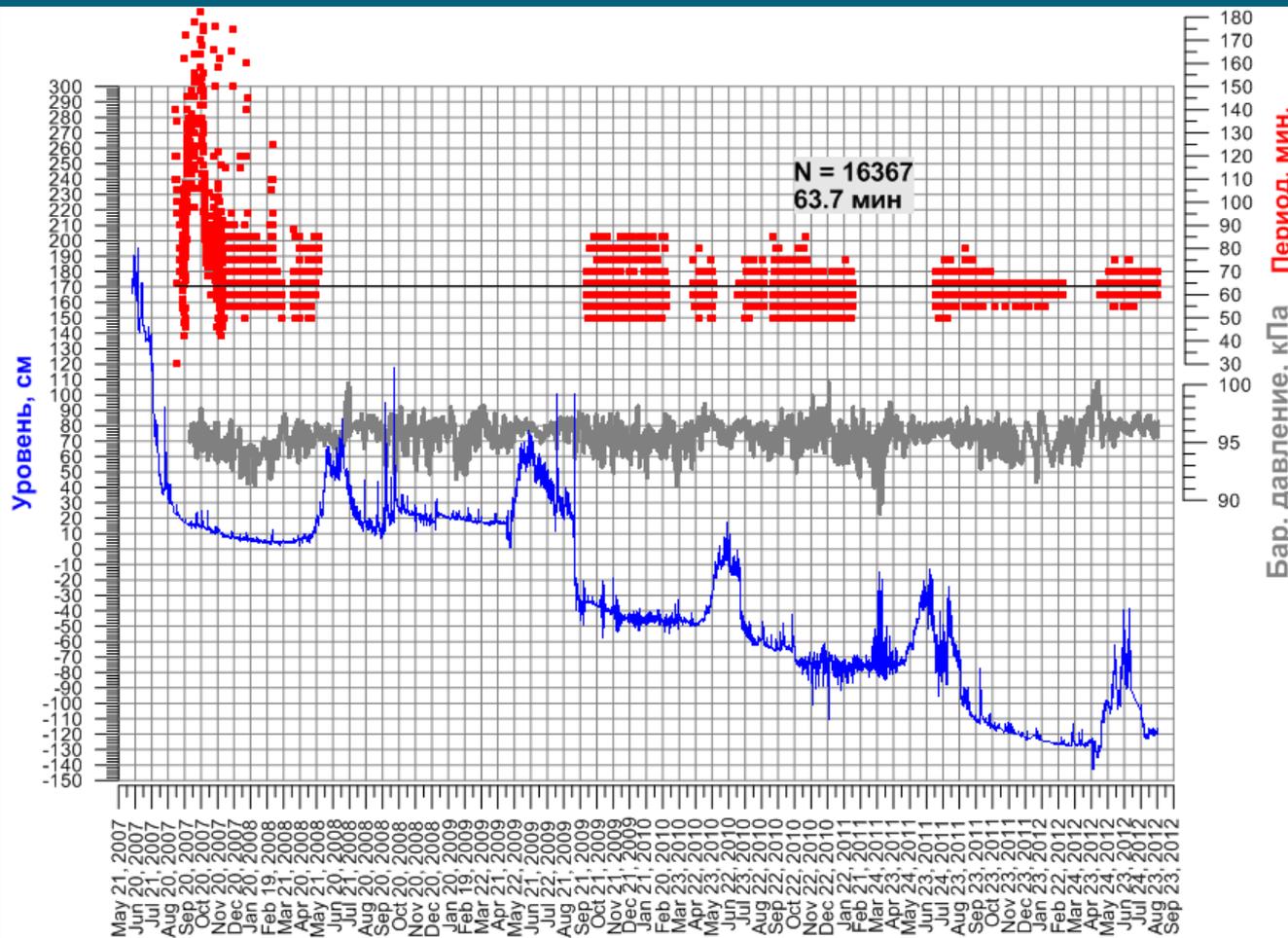


Пункты мониторинга гидрогеологического режима гейзеров и горячих источников Долины Гейзеров в 2007-2012 г: 3 - Первенец, 28 - Большой, 21 – Аверий, 23 - Великан, 45 - Трубы, 52 - Верхний, 54 - Хлоридный, N16 и N17 – кипящие источники, обнаруженные после 3.06.2007, 56 – Кислый Котел, М – Младенец (Крепость), N37 – кипящий источник на урете озера, возникший после оползня. Дополнительные точки опробования показаны светлыми кружками (Т23 – источник в верховьях р. Теплый, N7 – источник в зоне отрыва оползня и пульсирующий высокодебитный источник в месте впадения р. Игрушка в р. Гейзерную.

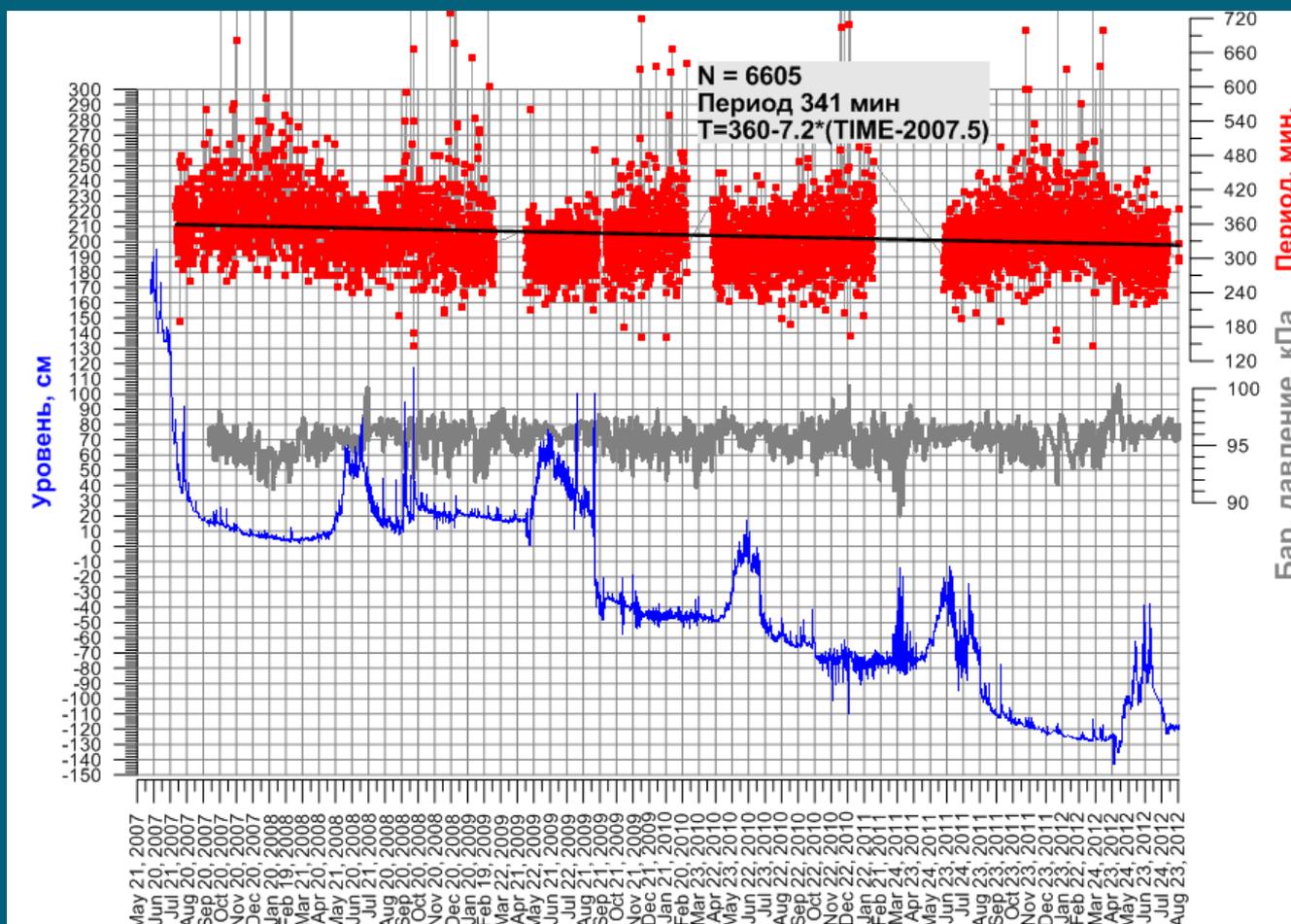
Гейзеры, на которых осуществляется непрерывная регистрация извержений



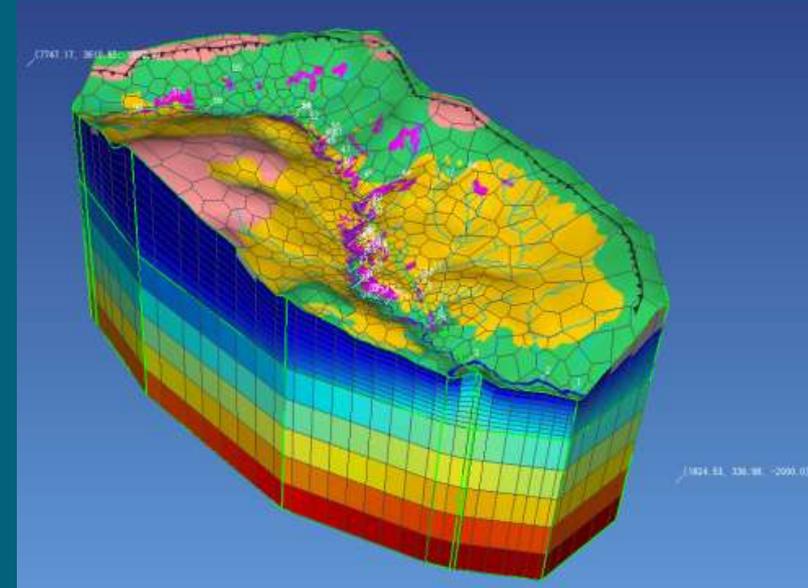
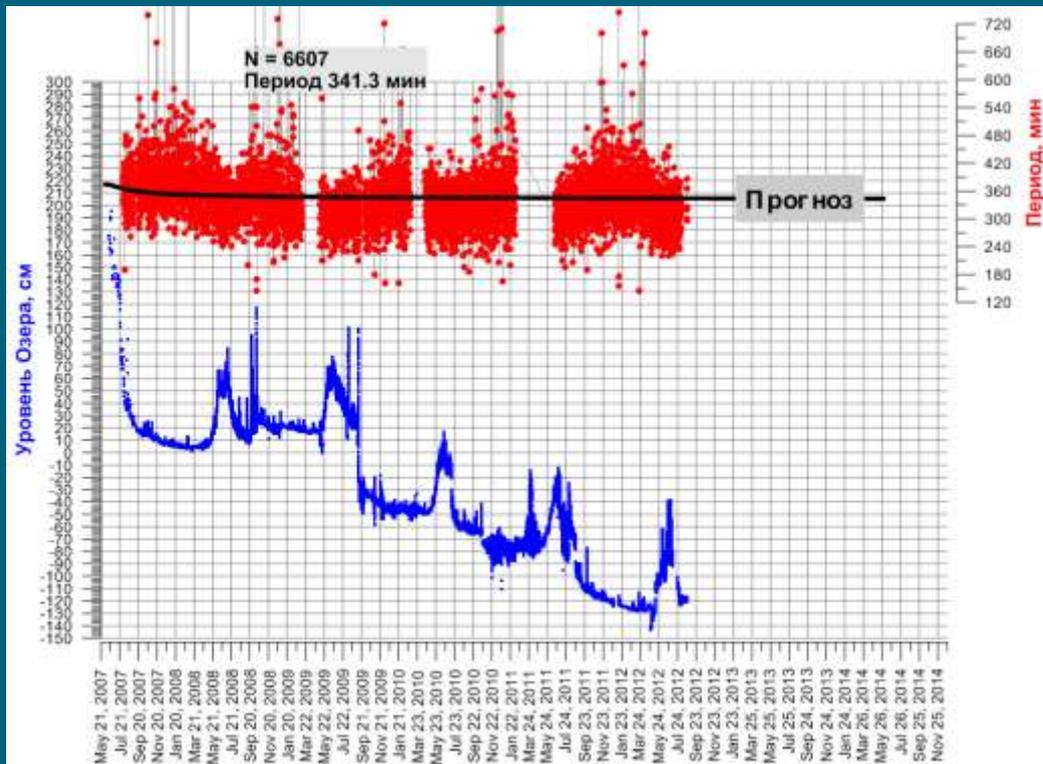
Гейзер Большой



По данным наблюдений на гейзере Большой, его средний период извержений составил – 64 мин, при этом зарегистрировано 16367 извержений гейзера. Его активность определяется уровнем Подпрудного Озера.



Гейзер Великан показывает тенденцию стабилизации периода извержений после его уменьшения в первые три года после катастрофического оползня. Средний период 341 мин, годовой темп уменьшения периода 7.2 мин в год.



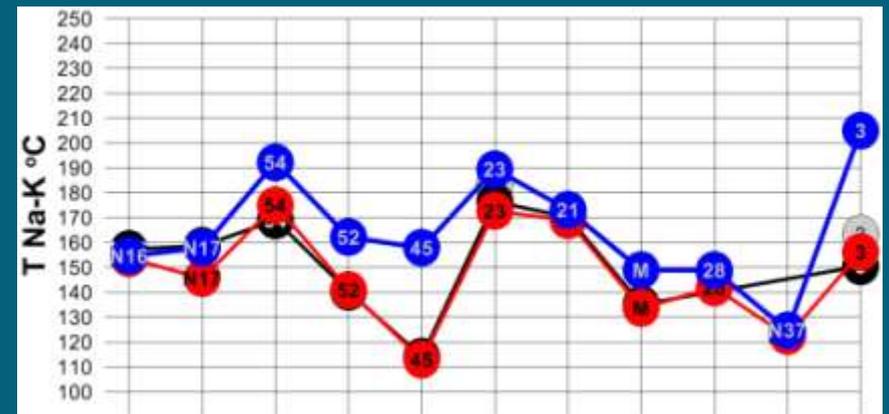
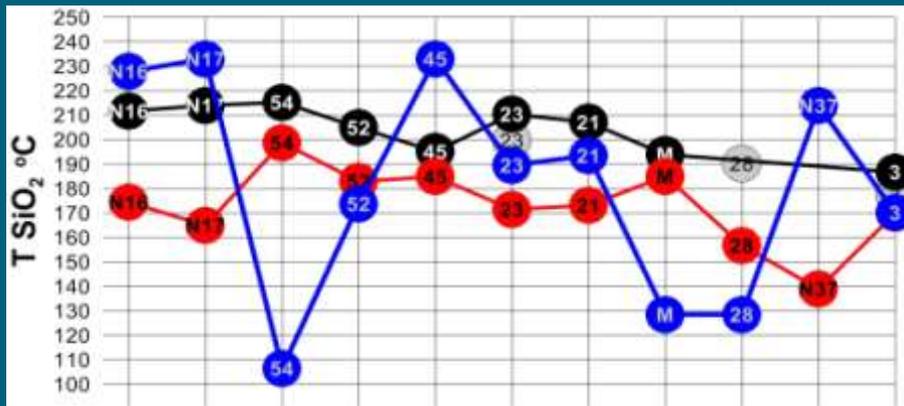
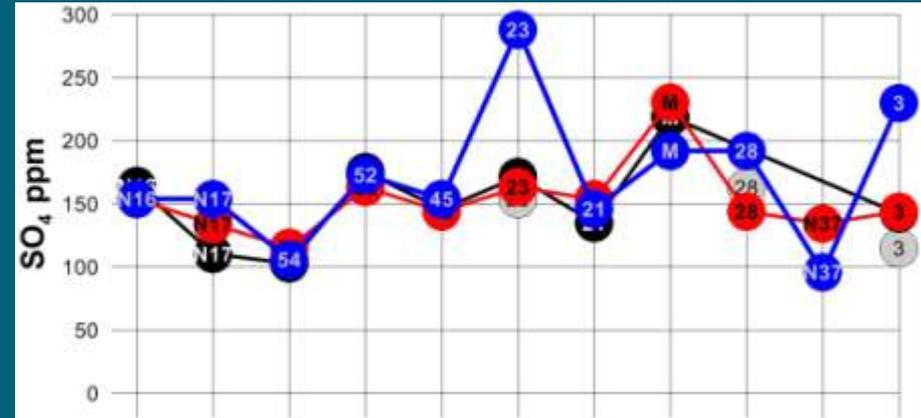
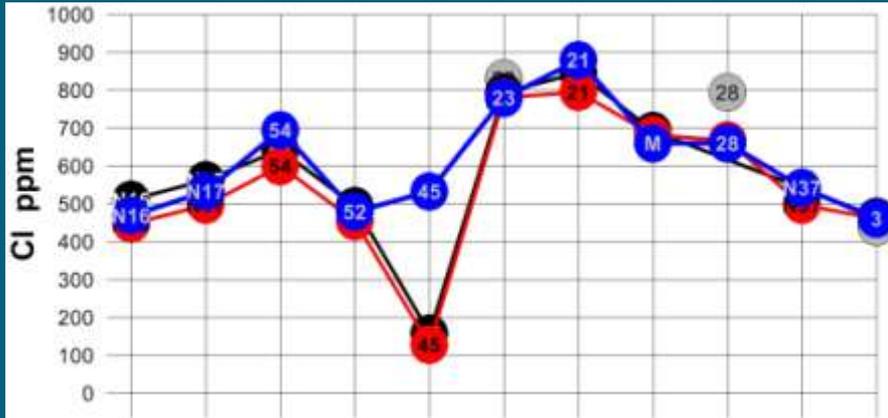
Для прогноза влияния инъекции холодной воды из Подпрудного Озера на гидрогеологический режим гейзера Великан используется TOUGH2-EOS3 моделирование. На численной термогидродинамической модели (полное описание приводится в работе (Kiruykhin et al, 2012) была определена внутренняя область, совпадающая с контурами Подпрудного Озера с граничным условием соответствующим уровню воды в озере +423 м). Моделирование показывает, что инъекция холодной воды из Подпрудного Озера имеет некоторый положительный эффект на активность Великана – его средний расход должен возрасти на 10.3%, а период извержений соответственно должен уменьшиться на 9.4% (AGU, 2011).

Анализ гидрогеологического режима базируется также на данных наблюдений за изменениями тепловой разгрузки по измерениям расхода реки на створе «Плотина», гидрохимическим показателям гидротерм, включая их изотопный и газовый составы.

По результатам наблюдений за режимом названных гейзеров, источников и общими показателями гидрогеологического режима выявлено: 1- нестабильность тепловой разгрузки за период наблюдений при минимальных значениях во время весенне-летнего половодья; 2- признаки разбавления глубинного флюида, связанного с притоком метеорных вод, обогащенных атмосферным воздухом, что наиболее вероятно связано с инжекцией в гидротермальную систему воды из Подпрудного озера; 3- возможное присутствие в воде гейзеров и источников инфильтрационных подземных вод глубинного формирования.



Мониторинг хим. состава гейзеров



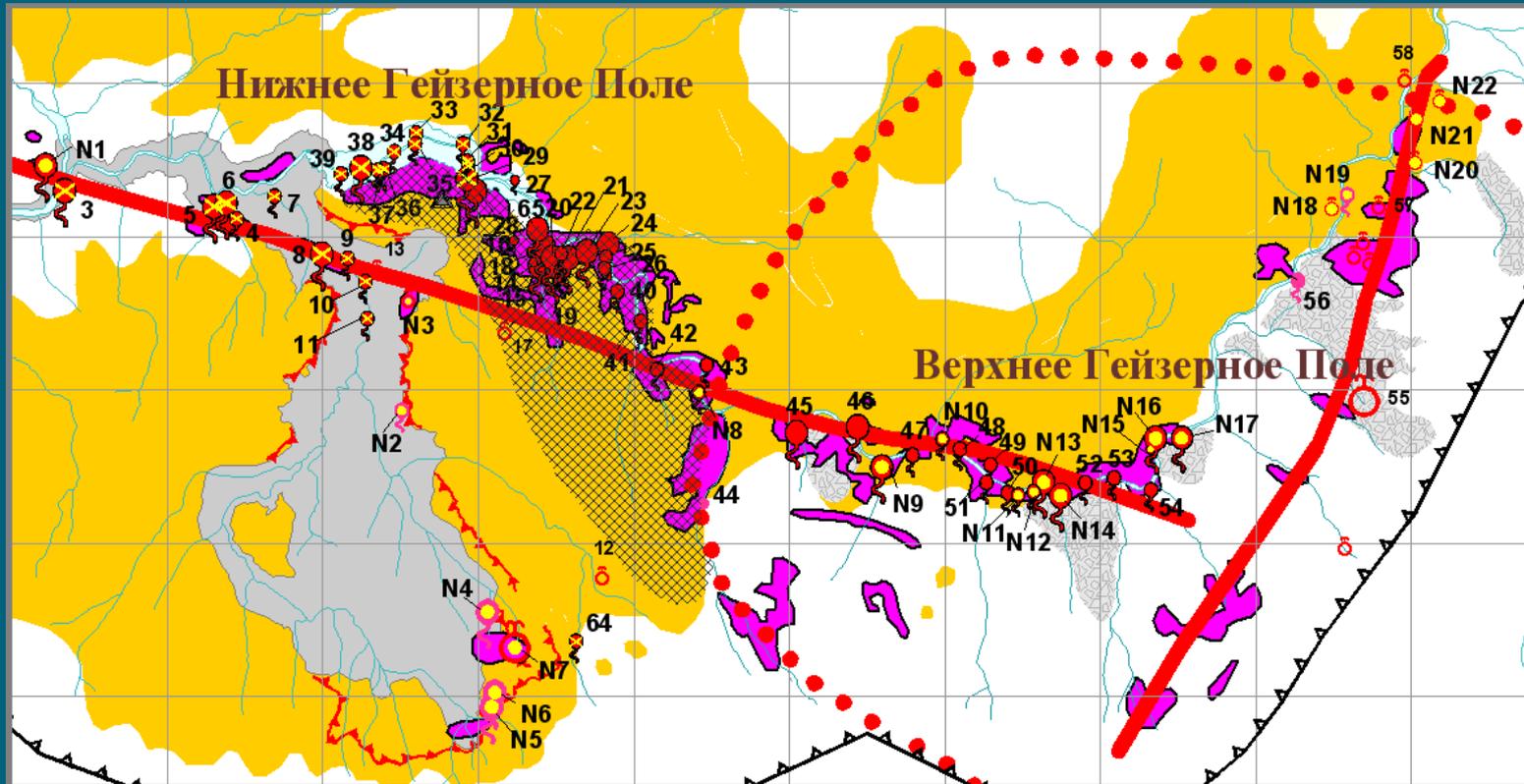
Изменение содержания Cl, SO₄, T-SiO₂, T-Na-K в режимных гейзерах и источниках (номера соответствуют рис. 1). Данные до 2007 г показаны серыми кружками, 2010 г – черными кружками, 2011 г – красными кружками, 2012 г – синими кружками.

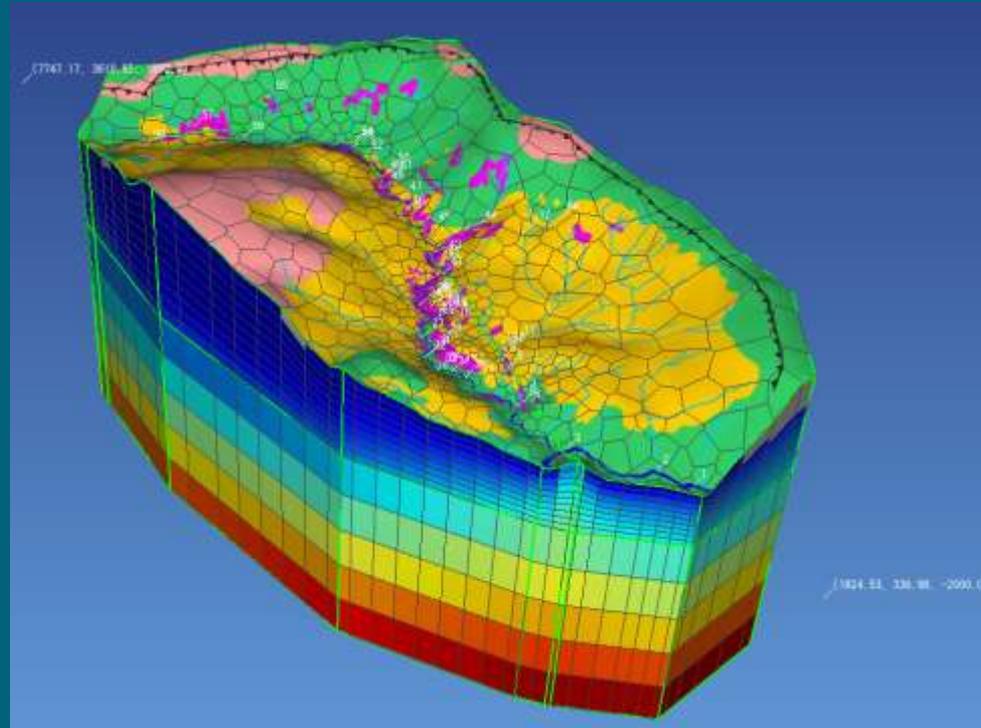
Сравнение результатов показывает в целом некоторое снижение содержания хлор-иона и увеличение сульфат-иона в период 2010-2012 гг. по сравнению с данными до 2007 г. В 2012 г фиксируется повышение глубинных температур по данным SiO₂ и Na-K геотермометра на Верхне-Гейзерном поле.

	H ₂	Ar	O ₂	N ₂	CO ₂	С Н ₄	Сумма, мл/л	Сумма %
N17	0.0050	0.007	19.45	73.05	3.740	0.006	6.4	96.26
54		1.264	14.25	79.36	0.500	0.003	21.7	95.38
23	0.0200	0.921	20.33	76.07	0.070	0.385	6.6	97.80
21		1.206	21.36	75.61	0.23	0.001	8.7	98.41
28	0.0070	0.996	21.1	73.36	1.91	0.015	6	97.39

По данным анализа проб, отобранных в 2011-2012 гг. доминируют атмосферные газы (без вычета атмосферной составляющей). В составе растворенного газа среднее соотношение $O_2/N_2 = 0.33$ значительно превышает атмосферное 0.268, это свидетельствует о существенном растворении атмосферного воздуха в гидротермальном флюиде (что может происходить как за счет притока метеорных вод в резервуар, так и за счет смешения пароводяных потоков с воздухом в каналах гейзеров).

Собрана 3D термогидродинамическая модель гидротермальной системы Долины Гейзеров, которая показывает, что эта гидротермальная система сформирована в пределах 2х термовыводящих линейных зон (разломов), расположенных над предполагаемым частично расплавленным магматическим телом и получает водное питание метеорными водами через поверхность риолит-дацитово́й экструзии Гейзерная (ξQ_3^4).
Высокотемпературный флюид поступает по этим зонам разломов на Нижне-Гейзерном и Верхне-Гейзерном полях.



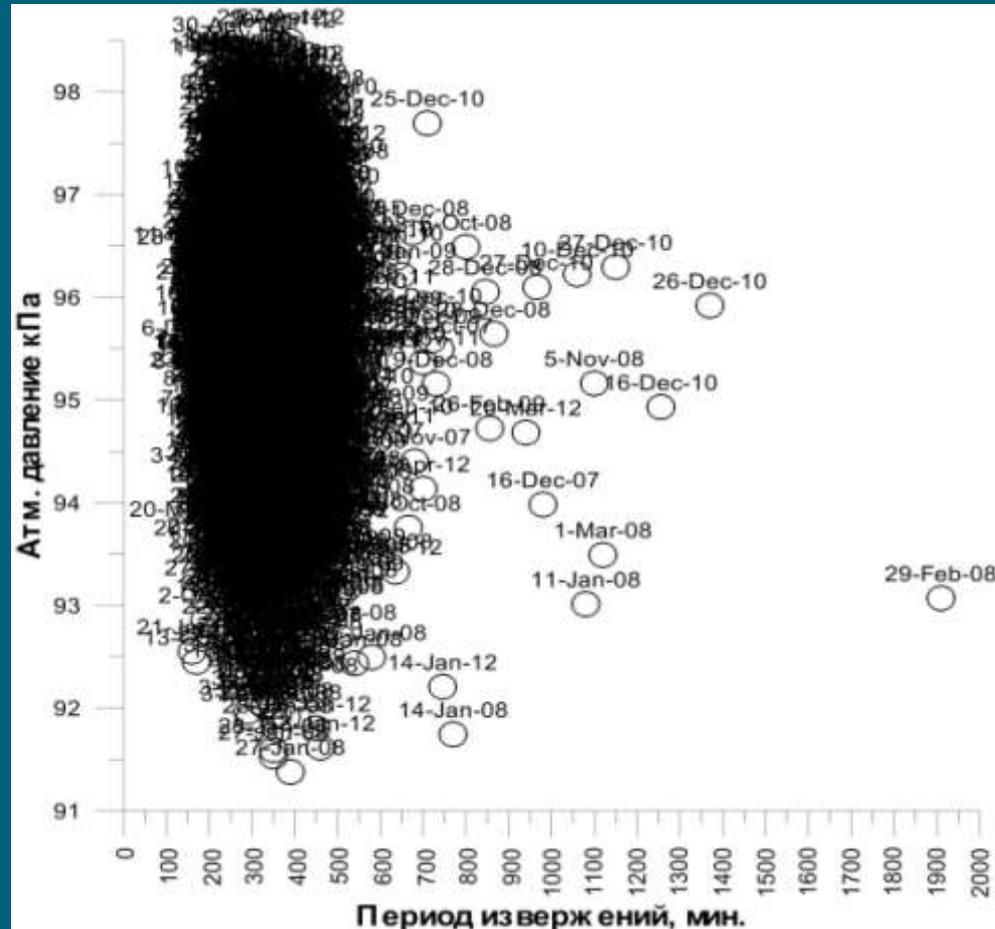


Моделирование также показало формирование 2х фазного резервуара под наклонно залегающим водоупором, что имеет потенциал гидротермального взрыва. Параметры модели проверены распределением разгрузки термальных источников и гейзеров, а также результатами изотопного анализа термального флюида (δD , $\delta^{18}O$), и показаниями геотермометров.

Наряду с исследованиями гидрогеологического режима гидротермальной системы Долины Гейзеров, необходимых для выявления динамики изменений после катастрофы, рассматриваются причины изменения периодичности гейзеров от воздействия метеорологических факторов (атмосферного давления, количества осадков, уровня воды в реке, скорости ветра, температуры воздуха и т. д.) , и сейсмической активности.

Как результат исследований, проведенных в Долине гейзеров и на гейзерах Паужетки в 1960-1970 гг. (В.В. Аверьев, В.И. Белоусов, Б.В. Иванов, В.И. Кононов, В.М. Сугробов, В.А. Дроздин, В.Л. Леонов, Н.Г. Сугрובה и др.) было установлено, что ***выделение влияния каждого из метеорологических факторов в отдельности затруднено. Действие их, как правило, различно по силе и длительности, и проявляется комплексно.***

Объектом для рассмотрения этой зависимости мы выбрали гейзер Великан, поскольку хронометраж его действия начал регулярно проводиться с августа 2007 г. с помощью логгеров температуры и давления. Пятилетняя инструментальная запись позволила достоверно установить среднюю продолжительность действия гейзера и отклонения от среднего значения продолжительности, а также изменения его режима, вызванные колебаниями гидрометеоусловий.



Анализ взаимосвязи периодичности извержений гейзера Великан с атмосферным давлением показывает, что такая связь отсутствует. Облако точек достаточно равномерно распределено в эллипсе, охватывающем диапазон изменения атмосферного давления 91.5-98.5 кПа и периода извержений 150-500 мин. Отдельные аномальные увеличения периода извержений регистрируются во всем диапазоне изменения атмосферного давления.

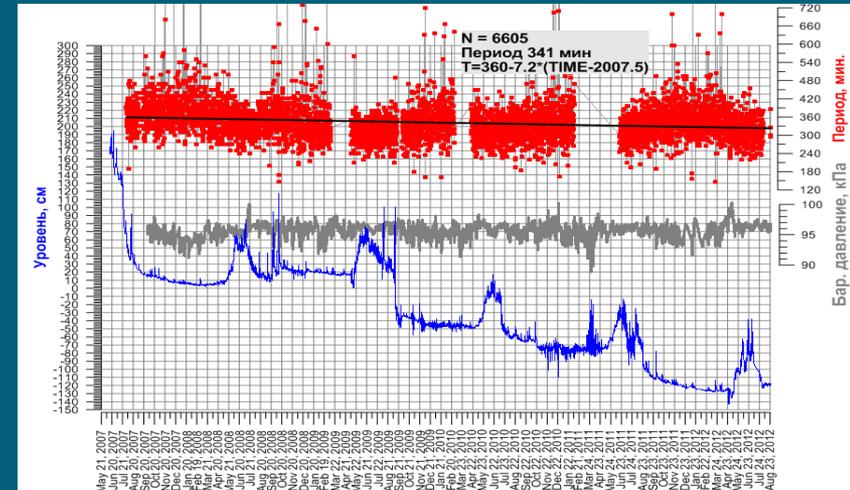
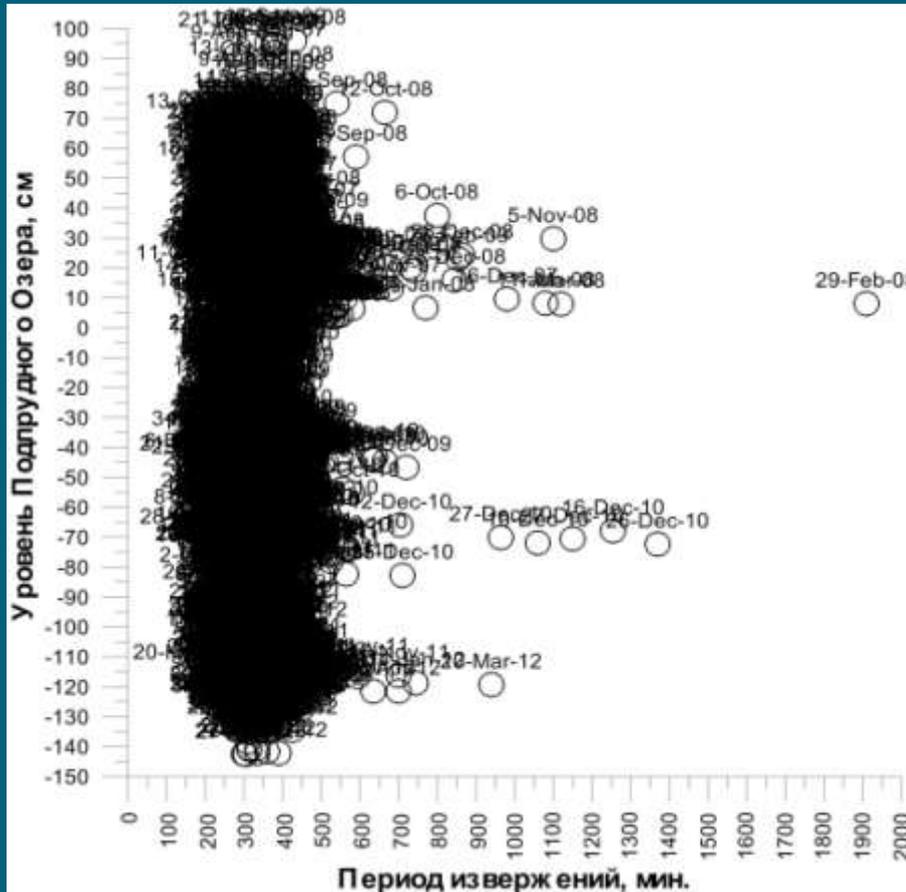
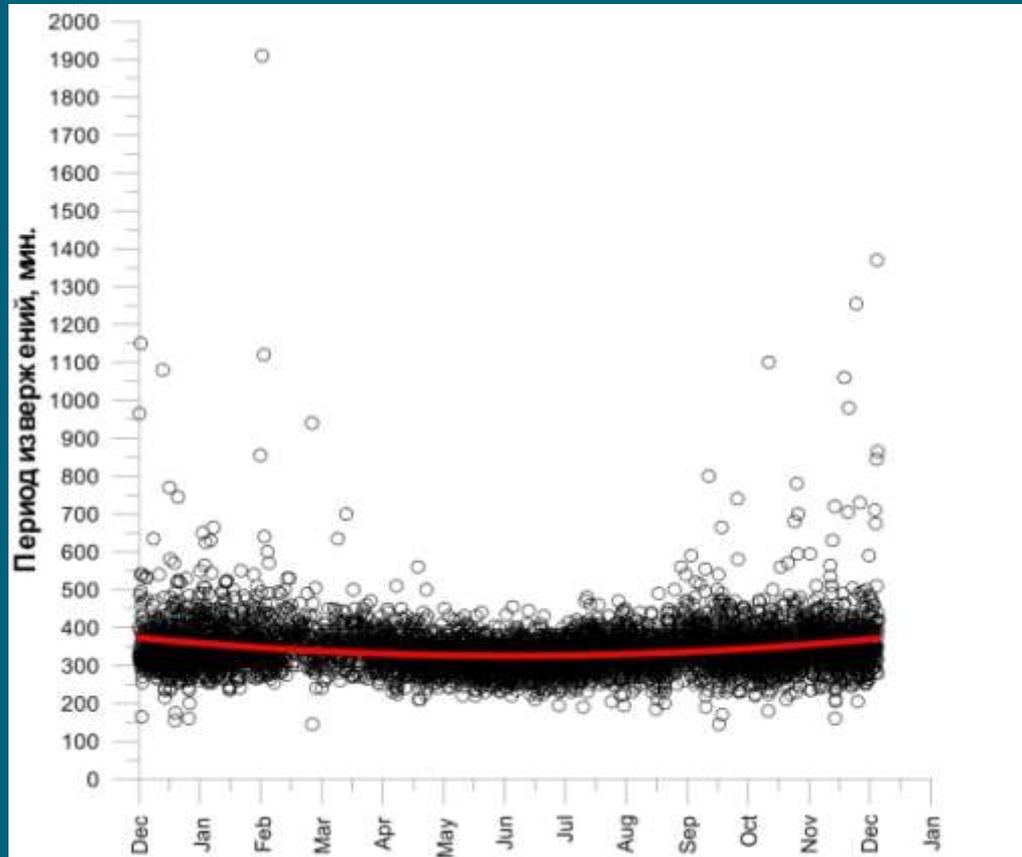
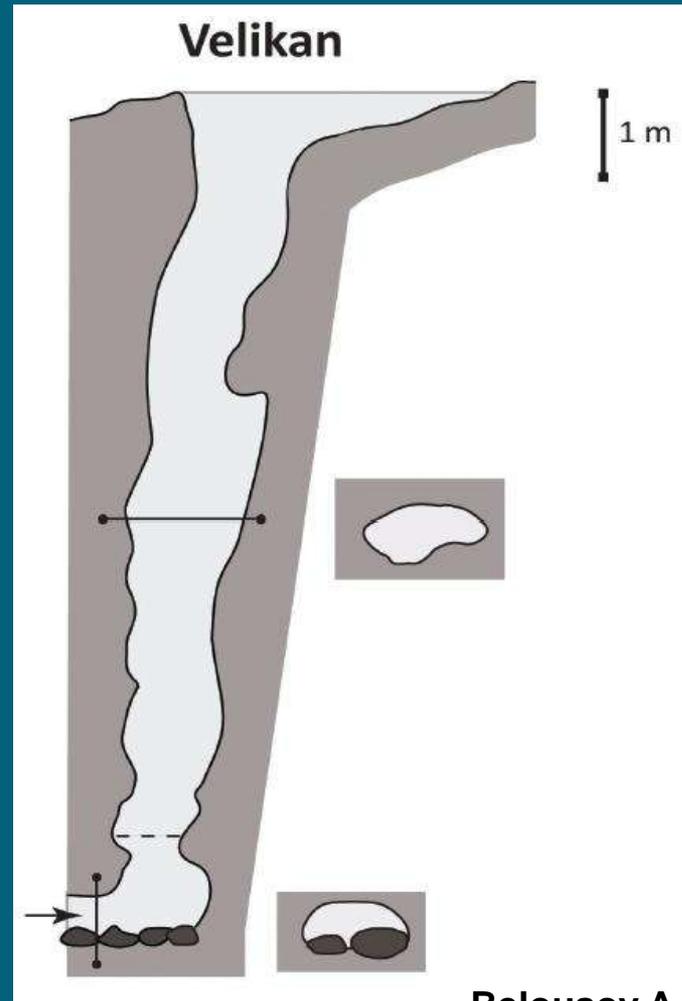


Диаграмма взаимосвязи периодичности извержений гейзера Великан с изменением уровня в Подпрудном Озере выглядит более интригующе. Здесь отчетливо видно, что аномальные увеличения периода извержений гейзера Великан происходили при дискретных значениях уровня Подпрудного Озера 10-20 см, -45 см, -70 см, -120 см. Эти уровни соответствуют зимним сезонам 2007/2008 г - 2008/2009 г, 2009/2010 г, 2010/2011 г, 2011/2012 г .



«Зимнюю спячку» гейзера Великан наиболее наглядно показывает график изменения периода извержений в пределах гидрологического цикла (с января по декабрь) за весь период наблюдений 2007-2012 гг. На графике видны аномальные увеличения периода извержений свыше 600 мин. и уменьшения периода ниже 200 мин., которые происходят только в зимнее время, т.е. имеют выраженный сезонный характер. В среднем, увеличение периода извержений в зимний период по сравнению с летним периодом составляет около 50 мин.



Гейзер
Великан

Belousov A.B. & M.G., 2013

Предполагается, что вероятными причинами зимнего увеличения периода Великана являются :

- (1) Повышенные теплотери с поверхности ванны Великана, имеющей площадь около 4.5 м^2 , в период пониженных температур и снегопадов;
- (2) Снижение (в целом) расхода гидротермальной системы в период зимней межени в связи с промерзанием областей водного питания

На момент анализа мы, к сожалению, располагали только дискретными данными по метеоусловиям с июля 2007 г. по декабрь 2012 года. Это были данные по двум метеопостам (Кроноки и Семячик) за 2011 год (очень детальные), и эпизодические очень скудные данные радиосвязи с кордоном «Долина Гейзеров».

Располагая данными метеостанций «Семячик» и «Кроноки» за 2011 год, и сделав выборку случаев «затянувшегося» периода извержений гейзера Великан за 2011 год, очевидно, что семь случаев из восьми связаны с экстремальными метеоявлениями, которыми являются экстремальные значения атмосферного давления, экстремальные изменения скорости ветра и температуры воздуха, экстремальные изменения температуры почвы, экстремальные изменения значения парциального давления водного пара, дефицита насыщения и экстремально низкие значения «точки росы».

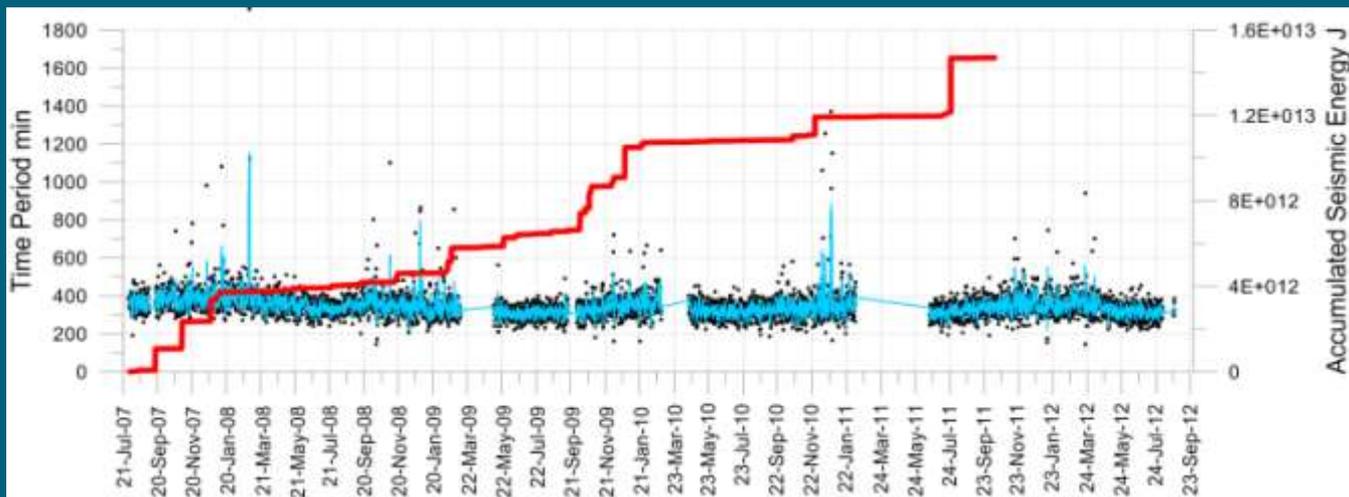
Связь с сейсмичностью.

По мнению многих ученых гейзеры потенциально должны реагировать на сейсмические события (что приводит к изменениям в гидротермальных системах). Наши коллеги из геологической службы Соединенных Штатов утверждают, что данные по гейзеру Old Faithful (США) за период с 1967 и 2006 годы выявили изменения в цикле гейзера (удлинение) в связи с землетрясениями на Центральном Плато в 1975 г., и на Пике Borah в 1983 г. Это удлинение цикла продолжалось в течение нескольких лет.

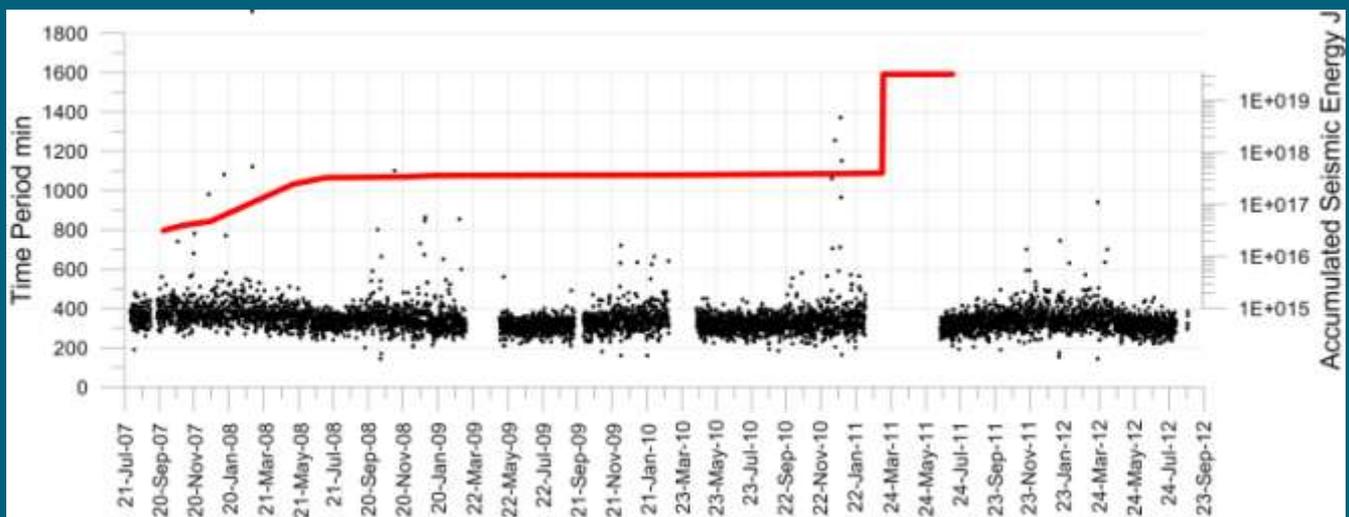
Также в пользу этой зависимости говорит факт произошедших изменений в гидротермальной системе через час следом за разрушительным землетрясением на г. Денали 3 ноября 2002 г. в центральной Аляске с магнитудой 7.9. Гидротермальные изменения наблюдались на 100 термальных площадках, в системе горячих источников в Бассейне Гейзера Norris.

Наблюдения в Йеллоустонском парке позволяют авторам работ предполагать, что в гидротермальных системах динамическое напряжение может локально изменить проницаемость пород путем прочищения существующих трещин, тем самым, изменяя (сокращая период) деятельность гейзеров, либо путем заполнения трещин осадками кремнезема (таким образом уменьшая проницаемость) - увеличивая интервалы извержения гейзера в течение времени. Они признают как факт и подтверждают изменения в гидротермальной системе Йеллоустона, вызванные большой величиной магнитуды на большом расстоянии.

Сопоставление кумулятивного графика сейсмической энергии (по региональному и глобальному каталогам) с динамикой изменения периода извержений гейзера Великан (Долина Гейзеров, Камчатка) пока не позволило обнаружить однозначной синхронизации этих изменений с сейсмическими событиями.



Взаимосвязь периода извержений гейзера Великан с региональной сейсмичностью (радиус 200 км, $M \geq 5$).



Взаимосвязь периода извержений гейзера Великан с глобальной сейсмичностью (радиус 3500 км, $M \geq 7$).

Можно лишь отметить, что одно из сильных региональных землетрясений (27 ноября 2010 г, $M=5.2$) произошедшее в 40 км к ССВ от Долины Гейзеров могло инициировать замедление периодичности Великана.

Причем 26 ноября период извержения Великана в течение суток был равен

- 350 мин.,
- 369 мин.,
- 450 мин.

27 ноября в 01:10 период составил 380 мин
в 05:51 произошло землетрясение $M=3.8$
в 06:30 период составил 320 мин
в 12:55 период составил 385 мин
в 18:40 период составил 345 мин
в 18:57 произошло землетрясение $M=4.5$
в 19:29 произошло землетрясение $M=5.2$
в 19:42 произошло землетрясение $M=3.8$
в 21:48 произошло землетрясение $M=4.2$
в 22:40 период извержения составил 239 мин

К сожалению, по техническим причинам отсутствуют данные о периоде извержения гейзера на момент землетрясения в Японии (11 марта 2011 г.)

Заключение:

(1) В Долине Гейзеров с 2007 г осуществляется непрерывный мониторинг гидрогеологического режима с целью выявления динамики изменений после катастрофического оползня 3.06.2007 на гейзерах Великан, Большой, Подпрудном Озере, а также дискретное опробование девяти основных режимных гейзеров и источников.

(2) По режимным гейзерам и источникам отмечаются признаки разбавления по основным компонентам глубинного теплоносителя при некотором увеличении компонент, связанных с притоком метеорных вод обогащенных атмосферным воздухом, что наиболее вероятно связано с инъекцией в гидротермальную систему воды из Подпрудного озера.

(3) По данным наблюдений на гейзере Большой, его средний период извержений составил – 64 мин, его активность определяется уровнем Подпрудного Озера.

(4) Гейзер Великан показывает тенденцию стабилизации после его уменьшения в первые три года после катастрофического оползня. Средний период 341 мин, годовой темп уменьшения периода 7.2 мин в год.

(5) Период извержений гейзера Великан в пределах гидрологического цикла показывает сезонное увеличение периода извержений в зимний период (в среднем около 50 мин).

(6) Зарегулированность и инерционность Великана позволяют рассматривать его как потенциальный предвестник сейсмических событий.