

УДК 551.21 + 550.34 (571.64)

## ПРОЯВЛЕНИЯ НЕВЕЛЬСКОГО И ГОРНОЗАВОДСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 2006–2007 гг. В ДИНАМИКЕ ГРИФОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЮЖНО-САХАЛИНСКОГО ГАЗОВОДОЛИТОКЛАСТИТОВОГО (ГРЯЗЕВОГО) ВУЛКАНА

© 2008 г. В. В. Ершов, член-корреспондент РАН Б. В. Левин,  
О. А. Мельников, А. В. Доманский

Поступило 22.04.2008 г.

Грязевой вулканизм – это своеобразное природное явление, представляющее большой интерес для геологов, геофизиков и просто любителей природы. Предполагается, что грязевые вулканы могут являться индикатором геодинамики земных недр и выступать в качестве предвестника тектонических землетрясений. В настоящей работе представлены данные полевых наблюдений за деятельностью Южно-Сахалинского грязевого вулкана во время подготовки и реализации сильных сейсмических событий на юге о. Сахалин. Предлагается возможная интерпретация выявленных аномалий в деятельности вулкана.

Грязевые вулканы являются природными флюидодинамическими системами, в которых протекают процессы интенсивного переноса энергии и вещества из недр Земли на ее поверхность. В настоящее время не существует однозначного мнения о наличии или отсутствии связи между грязевулканической деятельностью и естественной сейсмичностью. Неизвестен и характер предполагаемой связи – предвестник или отклик. Это обусловлено отсутствием необходимого количества эмпирического материала, полученного при длительных непрерывных наблюдениях.

Геологические аспекты грязевого вулканизма изучены относительно хорошо, тогда как о динамике грязевулканических процессов высказываются только некоторые общие представления [7, 10, 12, 14]. Немногие существующие количественные модели [4, 6, 8] описывают лишь процессы бурных извержений, практически игнорируя грифонную стадию деятельности. Непосредственно извержения (их время и место) используются также при статистическом анализе (поиске парных явлений) возможной связи между грязевым вул-

канизмом и сейсмическими событиями [3]. Однако извержения являются достаточно редкими событиями, которых недостаточно для понимания особенностей грязевулканических процессов и их связи с другими природными процессами и явлениями, в частности с естественной сейсмичностью.

Сахалин – это один из немногих регионов России, где известны наземные грязевые вулканы. Наиболее крупный и активный из них Южно-Сахалинский грязевой вулкан, который расположен в зоне Центрально-Сахалинского взбросо-надвига. Непосредственно перед Такойским роем землетрясений в 2001 г. проводился комплекс наблюдений за его деятельностью [2]. Однако они не позволяют сделать обоснованные выводы по обсуждаемой проблеме из-за своей малой продолжительности. Поэтому нами в полевые сезоны 2005–2007 гг. были организованы длительные непрерывные наблюдения за динамикой температурного и газового режимов грифонов этого вулкана.

Наблюдения 2006 г. (с 21 июля по 1 октября) и 2007 г. (с 11 июля по 27 сентября) проводились в условиях сейсмической активизации в регионе – Горнозаводского и Невельского землетрясений. Для Горнозаводского землетрясения 17(18) августа 2006 г. с  $M_s = 5.6$  эпицентрального расстояния до вулкана составило около 85 км [9], для Невельского землетрясения 2 августа 2007 г. с  $M_w = 6.2$  – около 65 км [11]. Оба землетрясения являются коровыми и связываются с Западно-Сахалинской системой разломов.

Температура водогрязевой смеси (ТВГС) в грифоне зависит от большого числа факторов – скорости истечения водогрязевой смеси из грифона, интенсивности дегазации в грифоне, физических свойств водогрязевой смеси (прежде всего ее вязкости и плотности), геометрии грифона и метеорологических условий.

Большое количество таких факторов и сложный характер их изменения во времени затрудня-

ют создание адекватной детерминированной модели и, соответственно, получение для ТВГС точных аналитических выражений. Более предпочтительным видится статистический подход, при котором можно оперировать усредненными оценками измеряемого параметра. Существенные отклонения параметра от среднего значения рассматриваются как аномальные.

За основу такого подхода берется простейшая статистическая модель, используемая в регрессионном анализе по методу наименьших квадратов. В качестве переменных-регрессоров выступают температура окружающего воздуха и температура поверхности грязевого поля, характеризующая тепловую инерцию грифона. Линейной комбинацией этих переменных объясняется от 50 до 95% дисперсии ТВГС – переменной-предиктора [5]. Отклонения от линейной зависимости рассматриваются как изменения в деятельности грифона и представлены остаточными разностями, образующимися после удаления линейной регрессии (детерминированной составляющей).

Температура водогрязевой смеси в период мониторинга измерялась ежедневно цифровым термометром с разрешающей способностью  $0.1^{\circ}\text{C}$  в 25–30 различных по морфологии, активности и пространственному расположению грифонах. На графиках остаточных разностей, нормированных на среднее значение ТВГС в грифоне, на примере отдельных грифонов показаны различные типы динамики температурного режима грифонов (для измерений в 12 ч). Так, для ряда грифонов отчетливо видны положительные аномалии, возникающие после землетрясений (рис. 1, грифон А). Для других грифонов достаточно отчетливо просматриваются отрицательные аномалии (грифоны В и D). Часть грифонов практически не отреагировала на Горнозаводское и Невельское землетрясения (грифоны С и E).

Дебит газа во время наблюдений 2006 г. измерялся один раз в сутки (в 12 ч), но в ряде случаев измерения выполнялись дважды (для таких случаев приводится среднее значение). В 2007 г. измерения дебита газа проводились три раза в сутки (в 9, 12 и 18 ч) и потом рассчитывалось его среднесуточное значение. Для всех грифонов, в которых проводились измерения, после указанных землетрясений наблюдается увеличение дебита газа в 2–5 раз по сравнению с его средним уровнем в период наблюдений, предшествующий этим землетрясениям (рис. 2). Дебит газа измерялся в 4–6 наиболее активно действующих грифонах, для остальных грифонов измерения в силу технических причин не выполнялись. Отметим, однако, что визуальные наблюдения также показывают резкое увеличение дебита газа во многих грифонах после указанных землетрясений. Описанный

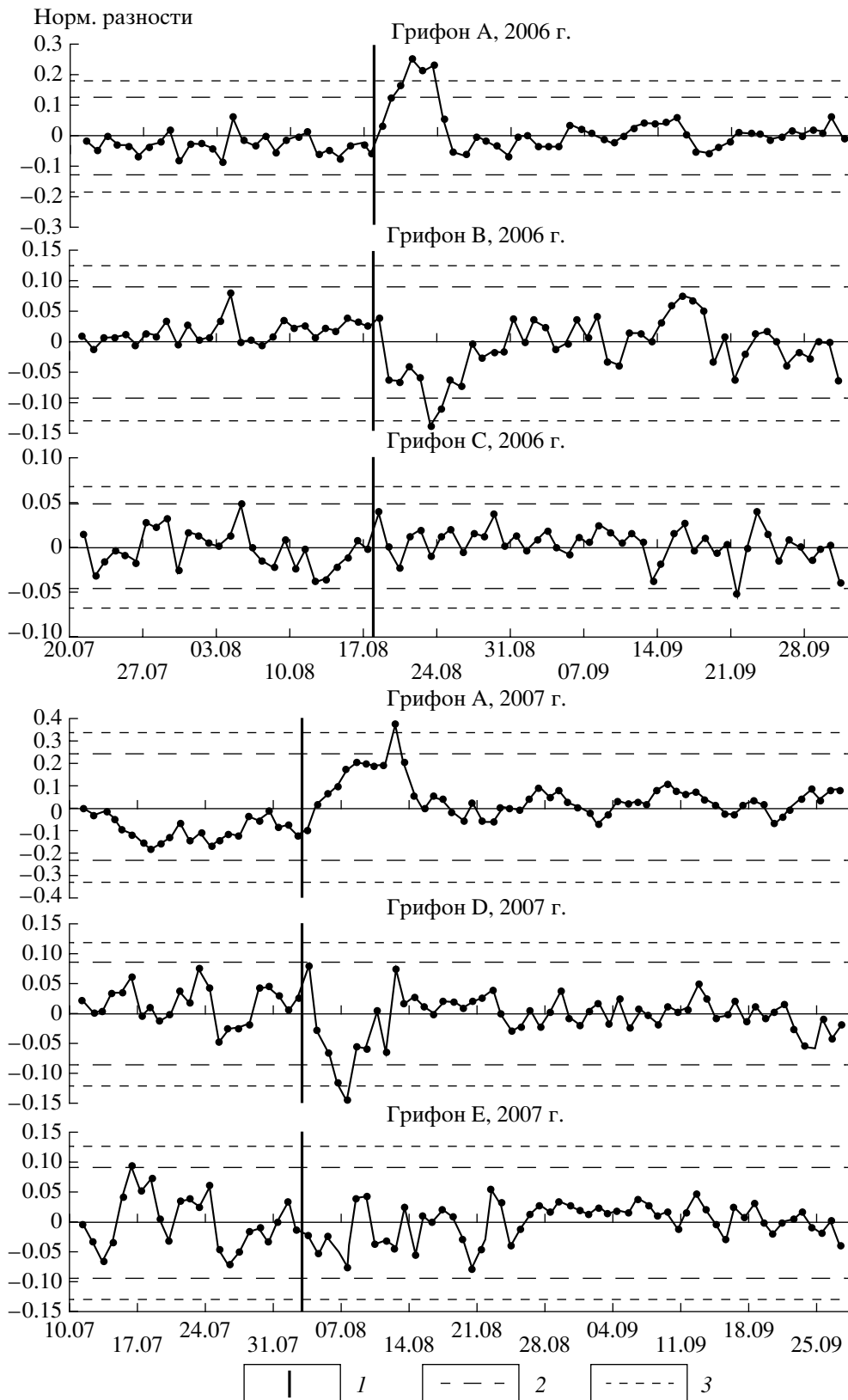
эффект постепенно затухает в течение нескольких дней.

Статистическую значимость полученных результатов проверяли с помощью неравенства Чебышева, для которого предположения о законе распределения остаточных разностей не требуется. Наблюдаемая аномалия считается достоверной, если она представляет собой выброс – значение, которое не принадлежит данному распределению. Для многих распределений доверительные интервалы, определяемые неравенством Чебышева, намного превышают истинные. Поэтому границы интервалов определяли для значений доверительной вероятности 0.9 и 0.95.

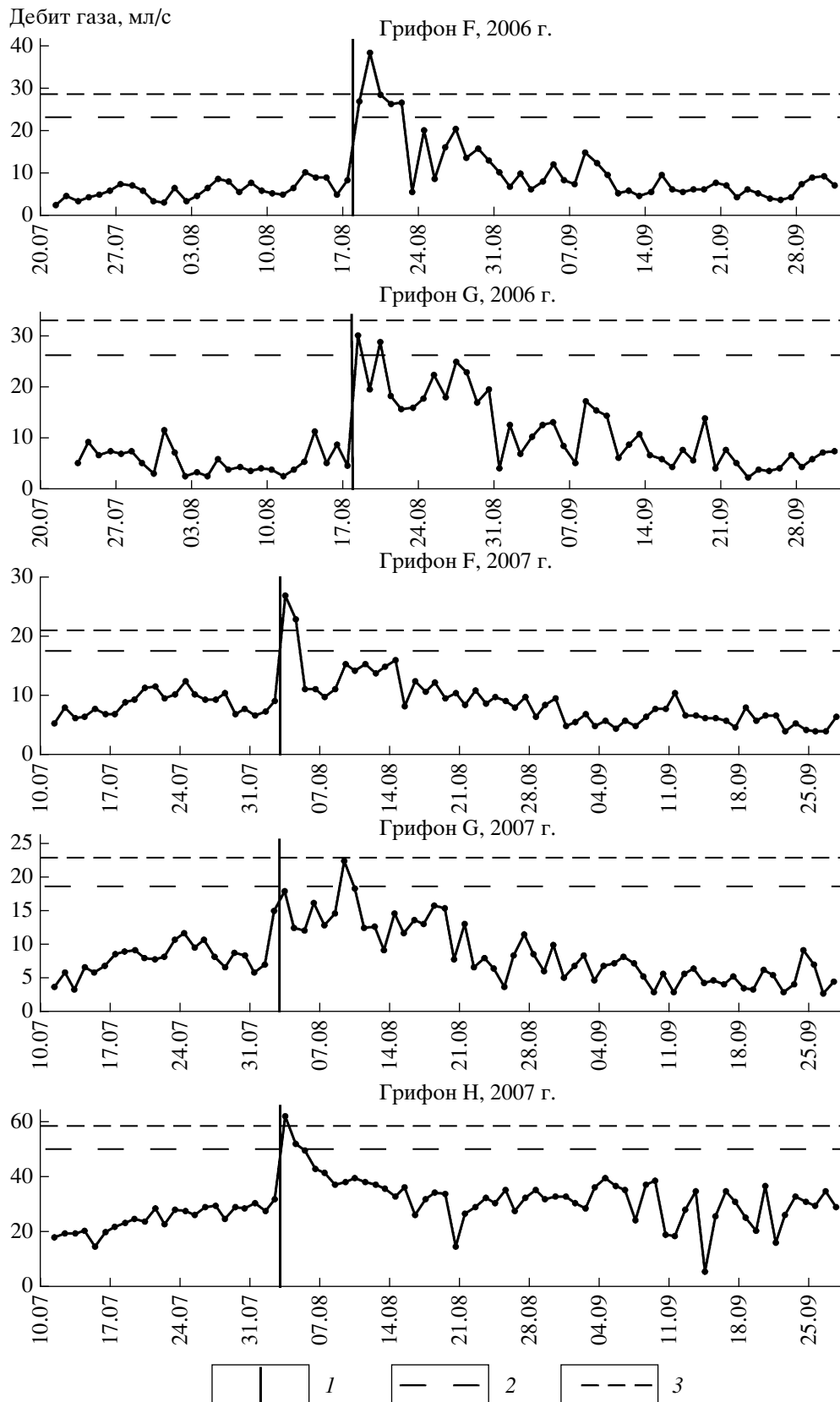
Предлагается следующая интерпретация экспериментальных данных. При стационарном потоке водогрязевой смеси из грифона коэффициенты в уравнении множественной линейной регрессии для ТВГС в грифоне в пределах погрешности измерений являются постоянными. Остаточные разности для таких грифонов будут представлять небольшие случайные флуктуации около нулевого значения. Увеличение потока приводит к уменьшению значений коэффициентов в уравнении регрессии, что выражается отрицательными аномалиями на графике остаточных разностей. Уменьшение потока дает противоположный эффект.

Массоперенос водогрязевой смеси в грифоне осуществляется преимущественно выделяющимся из него газом. Соответственно, величина потока водогрязевой смеси определяется интенсивностью дегазации в грифоне. При подготовке землетрясения возникает приповерхностная дилатантная область, размер которой может значительно превышать эпицентральною зону будущего землетрясения [1]. Сейсмическое воздействие на геосреду от сильного и относительно близкого землетрясения также приводит к увеличению проницаемости разломной зоны [13]. И, наконец, прохождение сейсмических волн непосредственно через систему очагов грязевого вулкана вызывает резкие изменения пластового давления, что способствует переходу растворенного газа в свободную фазу. Все эти процессы приводят к повышению интенсивности дегазации в грифоне и при прочих равных условиях к увеличению потока водогрязевой смеси из него.

Однако визуальные наблюдения показывают, что водогрязевая смесь в ряде грифонов густеет после землетрясений. В этом случае существенное увеличение вязкости и плотности водогрязевой смеси, несмотря на повышение интенсивности дегазации в грифоне, дает уменьшение потока водогрязевой смеси, что приводит к положительным аномалиям остаточных разностей. Отметим, что сам эффект изменения физических свойств водо-



**Рис. 1.** Остаточные разности для температуры водогрейной смеси, нормированные на ее среднее значение в соответствующих грифонах. 1 – указатель даты землетрясения, 2 – доверительные интервалы для доверительной вероятности 0.9, нормированные на среднее значение температуры водогрейной смеси в грифоне, 3 – аналогично 2 для доверительной вероятности 0.95.



**Рис. 2.** Дебит газа в грифонах. 1 – указатель даты землетрясения, 2 – доверительные интервалы для доверительной вероятности 0,9, 3 – аналогично 2 для доверительной вероятности 0,95.

грязевой смеси в ряде грифонов пока остается без какого-либо убедительного объяснения.

Таким образом, впервые обнаружена и представлена на конкретном фактическом материале ранее предполагавшаяся связь грязевулканической деятельности с сильными сейсмическими событиями в регионе. Установленные ко- и постсейсмические аномалии параметров грифоновой деятельности Южно-Сахалинского грязевого вулкана представляют собой его отклик на Горнозаводское и Невельское землетрясения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 05-05-64124).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А.С., Белоносов А.С., Петренко В.Е. О концепции многодисциплинарного прогноза землетрясений с использованием интегрального предвестника. Проблемы динамики литосферы и сейсмичности. Вычислительная сейсмология. М.: Геос, 2001. В. 32. С. 81–97.
2. Астахов А.С., Сергеев К.Ф., Мельников О.А. и др. // ДАН. 2002. Т. 386. № 2. С. 223–228.
3. Бабазаде О.Б. Физические основы прогнозирования разрушения горных пород: тез. докл. VII международной школы-семинара. Борок, 17–21 октября 2005 г. М.: ОИФЗ РАН, 2005. С. 10.
4. Горкун В.Н., Сырык И.М. // Геология и геофизика. 1967. № 2. С. 30–42.
5. Ершов В.В. Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз: Сборник материалов II (XX) Сахалинской молодежной школы. Южно-Сахалинск, 4–10 июня 2007 г. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2008. С. 268–284.
6. Иванов В.В., Гулиев И.С. Массообмен, углеводородообразование и фазовые переходы в осадочных бассейнах. Баку: Нафта-Пресс, 2002. 107 с.
7. Каракин А.В., Каракин С.А., Камбарова Г.Н. // Физика Земли. 2001. № 8. С. 76–85.
8. Каракин А.В., Каракин С.А. // ДАН. 2000. Т. 374. № 5. С. 684–687.
9. Левин Б.В., Ким Чун Ун, Тихонов И.Н. // Тихоокеан. геология. 2007. Т. 26. № 2. С. 102–108.
10. Мельников О.А., Левин Б.В., Ершов В.В. // ДАН. 2006. Т. 411. № 1. С. 85–88.
11. Поплавская Л.Н., Рудик М.И., Сафонов Д.А., Нагорных Т.В. Проблемы сейсмобезопасности Дальнего Востока и Восточной Сибири. Тез. докл. Южно-Сахалинск, 27–30 сентября 2007 г. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2007. С. 20–21.
12. Холодов В.Н. // Природа. 2002. № 11. С. 47–58.
13. Шмонов В.М., Витовтова В.М., Жариков А.В. Флюидная проницаемость пород земной коры. М.: Науч. мир, 2002. 210 с.
14. Якубов А.А., Григорьянц Б.В., Алиев Ад.А. и др. Грязевой вулканизм Советского Союза и его связь с нефтегазоносностью. Баку: Элм, 1980. 167 с.