

О ДИНАМИКЕ ГРИФОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГАЗОВОДОЛИТОКЛАСТИТОВЫХ (“ГРЯЗЕВЫХ”) ВУЛКАНОВ И ЕЕ СВЯЗИ С ЕСТЕСТВЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТЬЮ НА ПРИМЕРЕ ЮЖНО-САХАЛИНСКОГО ВУЛКАНА (О. САХАЛИН)

О.А. Мельников¹, В.В. Еришов¹, Ким Чун Ун¹, Сен Рак Се²

¹ *Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск*

² *Сахалинский филиал Геофизической службы РАН, г. Южно-Сахалинск*

Поступила в редакцию 25 июня 2007 г.

Приводятся подробные сведения о характере и динамике грифонной деятельности Южно-Сахалинского газоводолитокластитового (“грязевого”) вулкана. Они получены в результате визуальных наблюдений в периоды между кратковременными извержениями вулкана в 1959, 1979 и 2001 гг. и особенно в период непрерывного мониторинга (с 18 июня по 03 сентября 2005 г.). Мониторинг, помимо непосредственного наблюдения, включал трехразовые измерения температуры и давления воздуха, температуры жидкой литокластитовой массы, заполнявшей кратерные углубления ряда грифонов различного типа, а также замеры количества газа, выделявшегося в двух наиболее крупных и активных грифонах, ежедневный отбор проб жидкой литокластитовой массы для последующего химического анализа методом ICP-AES на пять элементов (Al, Fe, Ca, Mn и Ba) из кратера самого крупного – Главного, или Центрального грифона. Результаты мониторинга сравнивались с данными по естественной сейсмичности, полученными системой цифровых сейсмостанций “Dat” и “Datamark”. В итоге на основе полученных данных впервые доказана ранее лишь предполагавшаяся прямая причинно-следственная связь между деятельностью Южно-Сахалинского газоводолитокластитового вулкана, динамикой вещественного состава извергаемой его Главным грифоном жидкой литокластитовой массы и регионально-локальной естественной сейсмичностью. Один из измеряемых элементов, а именно Al, в своей динамике проявляет достаточно отчетливую прогностическую роль.

Ключевые слова: газоводолитокластитовый вулкан, грифон, мониторинг, естественная сейсмичность, взбросо-надвиг, динамика, вещественный состав, химический анализ, о. Сахалин.

ВВЕДЕНИЕ

В деятельности большинства газоводолитокластитовых вулканов сравнительно кратковременные стадии бурного (фонтанного) извержения насыщенной газом и водой литокластитовой массы сменяются более длительной грифонной стадией, когда на вулкане возникают (или сохраняются с прошлого) довольно своеобразные формы вулканической деятельности – грифоны. Они представлены различными формами вулканических построек – от возвышающихся усеченно-правильных конусовидных форм до обвально-котлообразных. Кратерные углубления в привершинной части – у первых и в центре – у вторых, связаны с подводными каналами, по которым через одно или несколько отверстий на дне кратеров поступают на поверхность газ, вода и разжиженная ими литокластитовая масса.

При изучении вулканов, вообще, и газоводолитокластитовых, в частности, основное внимание исследователи обращают, как правило, на этапы бурных извержений в деятельности вулканов, почти игнорируя при этом промежуточную между извержениями грифонную стадию. Между тем, эта стадия может оказаться очень важной во многих отношениях и, прежде всего, в понимании общих процессов вулканизма и их связи с другими природными явлениями, например, с естественной сейсмичностью. Данная работа посвящена анализу результатов наблюдений за деятельностью Южно-Сахалинского газоводолитокластитового вулкана: 1) во время продолжительных периодов между кратковременными извержениями вулкана в 1959 (первая точно зафиксированная дата бурного извержения этого вулкана), 1979 и 2001 гг., 2) в 2002–2005 гг. во время очередной

грифонной стадии в его деятельности, начавшейся после бурного извержения в конце декабря 2001 г., включая результаты почти трехмесячного непрерывного мониторинга в период 18 июня–3 сентября 2005 г. Работа методически свелась к сбору и анализу результатов наблюдений за грифонной деятельностью Южно-Сахалинского вулкана, проведенных до мониторинга летом 2005 г., самому мониторингу и сопоставлению полученных при этом результатов с данными по естественной сейсмичности юга о. Сахалин, полученными сетью цифровых сейсмостанций “Dat” и “Datamark” в период мониторинга.

МЕТОДИКА

Методика непрерывного мониторинга летом 2005 г. основывалась на ранее проведенном (летом 2001 г.) кратковременном мониторинге на Южно-Сахалинском вулкане группой студентов и аспирантов из г. Владивостока во главе с научным сотрудником Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН А.С. Астаховым [2]. Помимо непосредственного ежедневного наблюдения за грифонной деятельностью на вулкане производились трехразовые (в 9, 12 и 18 часов) измерения температуры и давления воздуха, температуры литокластитовой массы, заполнявшей кратерные углубления 16 грифонов различного типа, замеры количества газа, выделявшегося в двух наиболее крупных и активных грифонах, ежедневные (в 12 часов дня) отборы проб жидкой литокластитовой массы из кратера самого крупного – Главного, или Центрального – грифона. Навески из этих проб, высушенных в муфельной печи, отправлялись в г. Владивосток в лабораторию коллективного пользования для определения содержания в них пяти элементов – Al, Fe, Ca, Mn и Ba – методом ICP-AES (исполнитель Н.В. Зарубина).

Температура окружающего воздуха и литокластитовой массы в кратерных углублениях грифонов замерялась цифровым термометром с водонепроницаемым стальным щупом длиной 20 см (разрешение прибора в диапазоне от –50 до +200 °C составляет 0.1 °C). Литокластитовая масса непосредственно перед измерением слегка перемешивалась щупом термометра. Давление воздуха замерялось типовым барометром с ценой деления 1 мм ртутного столба. Дебит газа в грифонах измерялся наиболее простым и распространенным способом – замером с помощью секундомера скорости вытеснения воды из опрокинутой над грифоном бутылки поднимающимися снизу пузырями газа, собираемыми погруженной в кратерное углубление широкой воронкой.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И АНАЛИЗ

Характер деятельности грифонов

В отличие от моментов бурных извержений Южно-Сахалинского вулкана, кардинально менявших на нем геоморфологическую ситуацию, в более длительные периоды грифонных стадий общая обстановка на вулкане резких изменений не претерпевала. Повидимому, сохранялось около 50 грифонов в течение всего периода наблюдений. В 1928 г. в своей статье Ф. Сайто [13] упоминает о 40 грифонах на вулкане. Непосредственно перед извержением в конце 2001 г. их насчитывалось 45–46, после этого извержения – 50 [7, 10, 11]. Летом 2002 г. число грифонов составляло 55–56, а во время мониторинга 2005 г. – 60–70 (рис. 1).

Полностью сохранялся общий непрерывный ряд грифонов от высоких крутосклонных конусообразных на одном конце ряда до низких пологосклонных котлообразных – на другом. Этот ряд находится в прямой зависимости от количества и качества (состава и консистенции) извергаемых грифонами продуктов своей деятельности – газа, воды и, особенно, литокластитовой массы. Чем в большем количестве и гуще была извергаемая литокластитовая масса, тем выше и круче оказывались склоны конусообразных грифонов, и наоборот.

Почти не изменилось число и местоположение группировок грифонов, хотя некоторые грифоны в группировках переставали активно действовать и постепенно засыхали, но рядом с ними, в виде микрогрифончиков, возникали новые, которые, активизируясь, превращались в крупные грифоны.

Метеорологическая обстановка

Погода на Южно-Сахалинском вулкане в период мониторинга летом 2005 г. была в целом сравнительно теплой и засушливой. Из 77 дождливым был 21 день. Наибольшее количество дождливых дней приходится на конец июля–начало августа (6 дней) и на конец августа–начало сентября (10 дней). Дожди были сравнительно кратковременными, не выходя за пределы одних (6 случаев) или двух (4 случая) суток, кроме интервала времени с 27 августа по 2 сентября.

Атмосферное давление, измеряемое на вулкане на высоте около 300 м над уровнем моря (рис. 2), было достаточно устойчивым с преобладанием значений в интервале 727–733 мм ртутного столба при очень небольшом общем росте от конца июня к концу августа. Наиболее отчетливой особенностью в поведении атмосферного давления на Южно-Сахалинском вулкане является приуроченность большинства минимумов, включая абсолютный минимум 18 июля, к дождливым интервалам, а большинства максимумов – к бездождным.

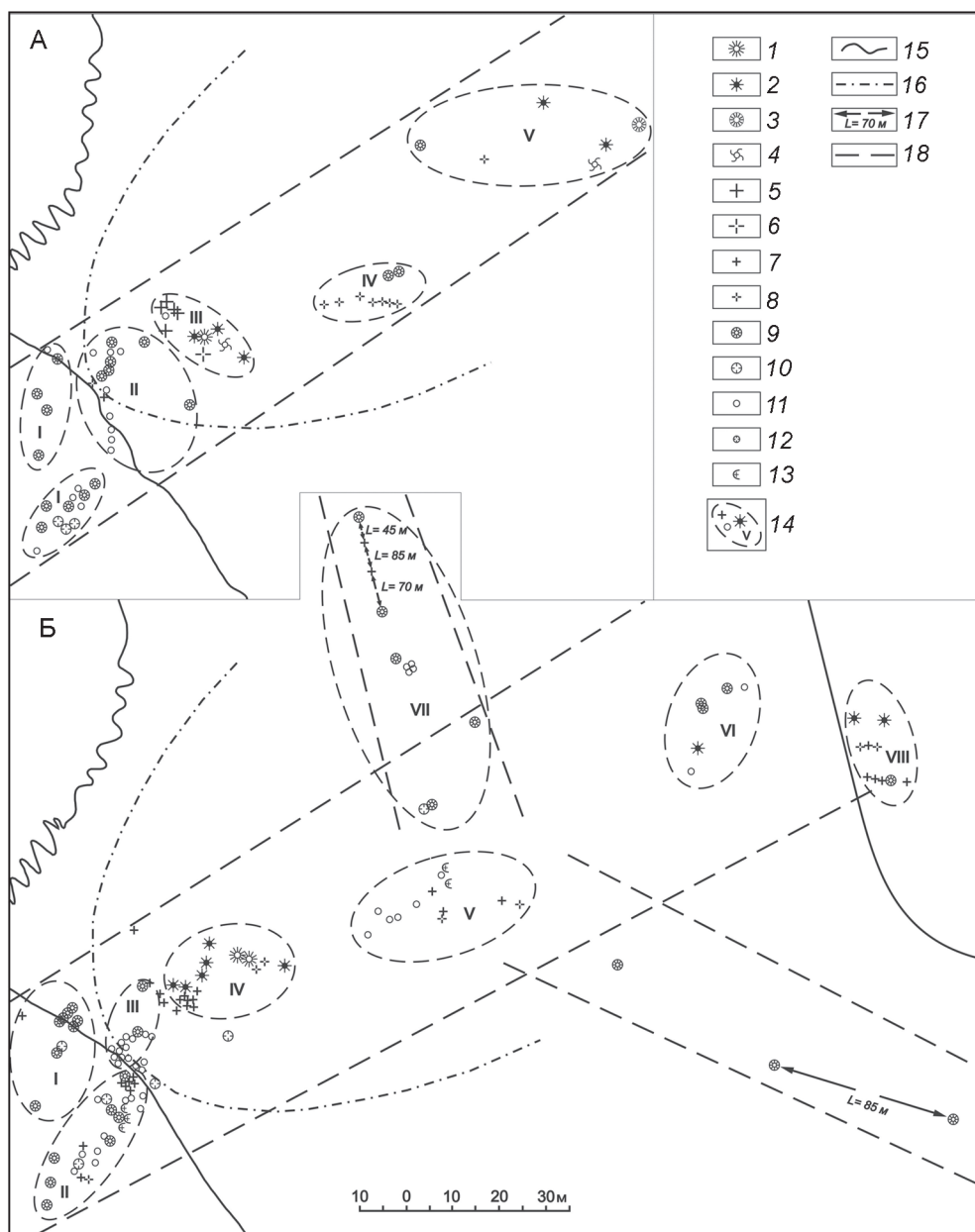


Рис. 1. Схема грифонов Южно-Сахалинского газоводолитокластитового (“грязевого”) вулкана: А – летом 2002 г. (после извержения в конце декабря 2001 г.), Б – летом 2005 г. (во время долговременного мониторинга).

1–13 – разновидности грифонов: 1 – Главный грифон и его “Напарник”, 2 – крупные крутосклоновые, конусовидные, активно действующие, 3 – то же, что и 2, но высохшие, 4 – то же, что и 2, но с неровно-комковатыми крутыми склонами, 5 – небольшие конусовидные, активно действующие, 6 – то же, что и 5, но высохшие, 7 – микрогрифончики конусовидные, активно действующие, 8 – то же, что и 7, но высохшие, 9 – крупные и средние пологосклоновые, котлообразные, активно действующие, 10 – то же, что и 9, но высохшие, 11 – небольшие или мелкие пологосклоновые, активно действующие, 12 – то же, что и 11, но высохшие, 13 – промежуточные между крутосклоновыми конусовидными и пологосклоновыми котлообразными с глубокими воронкообразными кратерными углублениями, активно действующие или засыхающие; 14 – группировки грифонов и их номера; 15 – границы свежего литокластитового поля, возникшего в конце декабря 2001 г.; 16 – подковообразные увалы, осложняющие рельеф привершинной части вулкана; 17 – немасштабное расположение отдельных грифонов с указанием расстояний между ними; 18 – краевые ограничения грифонных полос.

мов, включая абсолютный максимум 25 августа, – к бездождливым интервалам.

Большой изменчивостью или контрастностью отличалась температура окружающего воздуха (рис. 2). Наибольшие изменения температуры в диапазоне 10–30 °С наблюдаются в 12 часов, наименьшие – в диапазоне 9–25 °С – в 9 часов, а средние – в диапазоне 12–29 °С – в 18 часов. При сравнении графики характеризуются большим сходством друг с другом. На это указывают и высокие коэффициенты корреляции – 0.88 (для температуры воздуха в 9 и 12 часов), 0.86 (для температуры воздуха в 12 и 18 часов) и 0.70 (для температуры воздуха в 9 и 18 часов). На всех графиках в осредненном виде выделяются три общих максимума – в конце июня, в середине июля и в первой половине августа. Максимумы разделены такими же общими минимумами – между июнем и июлем, между июлем и августом, в третьей декаде августа и в самом начале сентября. Причем вполне естественно, что все минимумы, не только общие, но и локальные, достаточно строго отвечают дождливым и сравнительно холодным дням, а максимумы – теплым и даже жарким солнечным дням.

Температурный режим грифонов

В общей сложности температура замерялась в 16 грифонах – в Главном грифоне и его “Напарнике”, во всех пяти высоких крутосклонных конусообразных грифонах IV группы, в пяти низких пологосклонных грифонах III группы в привершинной части холма-вулкана, в отдельных крупных котлообразных грифонах во II (1), VI (1) и VII (2) группах. Сравнивая полученные графики измерений (рис. 2), можно заметить присущие им общие особенности: тренд постепенного небольшого роста температуры в грифонах с конца июня по конец августа и наличие трех максимумов, разделенных минимумами, аналогичных точно таким же, отмечавшимся на графиках температуры окружающего воздуха. Таким образом, замеряемая в грифонах температура в основном обусловлена местными погодными условиями.

Графики температуры в Главном грифоне и его “Напарнике”, имеющих общее основание диаметром около 5 м и высоту около 1 м у “Напарника” и 1.3 м у Главного грифона (рис. 2), в целом очень похожи и почти подобны друг другу. Однако они более сглаженные и менее контрастные у Главного грифона по сравнению с “Напарником”, с постепенным увеличением абсолютных значений и контрастности от замеров в 9 часов к замерам в 18 часов. Так, у Главного грифона абсолютные значения, измеряемые в 9 часов, меняются от 9.5° до 14.5 °С, в 12 часов – от 10 до 15 °С, и в 18 часов – от 10° до 15 °С; в “Напарнике”

эти значения изменяются соответственно в 9 часов – от 10° до 15 °С, в 12 часов – от 11° до 17.5 °С, в 18 часов – от 11° до 18.5 °С.

С этими графиками сходны графики температуры литокластивой массы во всех пяти высоких крутосклонных грифонах IV группы, особенно в грифонах IV-1, IV-2 и IV-3 (рис. 2). Этим грифонам также свойственны наибольшие значения температуры, измеренные в 18 часов, наименьшие – в 9 часов, средние – в 12 часов. Отмечается наличие трех общих максимумов, разделенных общими минимумами, отвечающих описанным погодным условиям, небольшой общий повышающий тренд с конца июня по конец августа, а также достаточно строгое совпадение по датам максимальных и минимальных значений. Некоторые различия, например, разный диапазон значений (13–25 °С в грифоне IV-1, 10–17 °С в грифоне IV-2, 14–25 °С в грифоне IV-3) или существенно разная контрастность значений (очень высокая в грифонах IV-1 и IV-3 и сильно сглаженная в грифоне IV-2) говорят об индивидуальных особенностях этих грифонов.

Резко отличаются от остальных графики температуры в грифонах IV-4 и IV-5 в IV группе высоких крутосклонных грифонов. В них плохо выражено разделение на характерные для всех других грифонов общие максимумы и минимумы. Они плохо коррелируются между собой и с остальными грифонами этой группы. Так, в грифоне IV-4, характеризующемся самым низким диапазоном изменчивости значений температуры (10–15 °С), полностью отсутствует первый общий максимум в конце июня, максимально выраженный на графике грифона IV-5. Все эти различия, вероятно, объясняются некоторыми специфическими особенностями в строении и характере деятельности этих двух грифонов: например, наличием многочисленных микрогрифончиков на южном склоне и у подножия грифона IV-4, активно действовавших в конце июня и начале июля, а также резко изменчивым и неупорядоченным характером деятельности грифона IV-5 в течение всего периода наблюдений летом 2005 г., который то резко активизировался до уровня самого активного грифона, то столь же резко снижал свою активность вплоть до полного прекращения своей деятельности.

Подобная картина наблюдается и в низких пологосклонных или котлообразных грифонах в группах II (1), III (5), VI (1) и VII (2). У них можно отметить следующие общие для всех грифонов особенности: прямая и высокая зависимость от погодных условий, преобладающе наибольшие значения температуры замеров в 18 часов, наименьшие – в 9 часов и

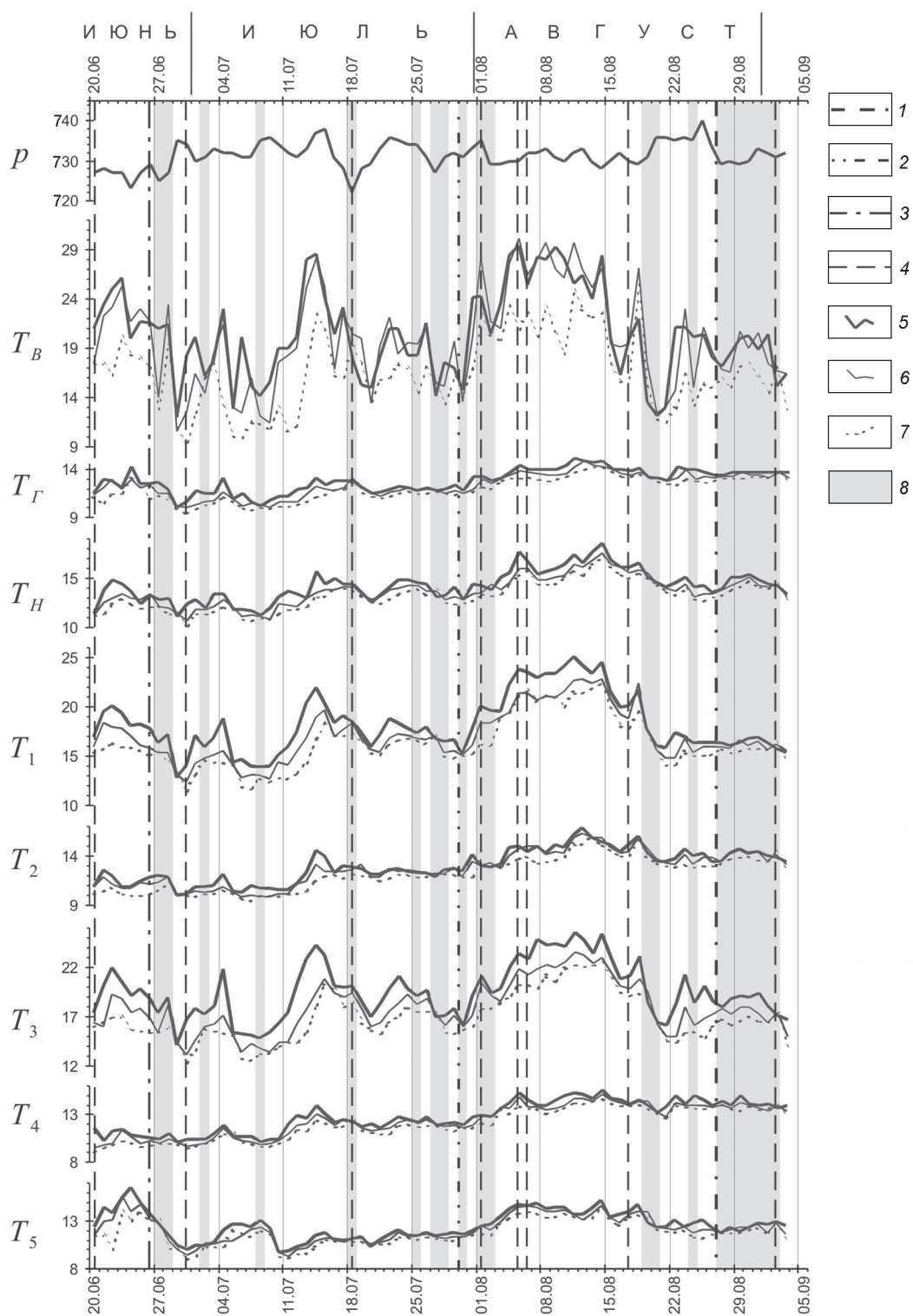


Рис. 2. Изменение давления воздуха (p), температуры воздуха (T_B) и литокластитовой массы в кратерах грифонов – Главного (T_G), “Напарника” (T_H) и пяти высоких конусообразных крутосклонных (T_1, T_2, T_3, T_4, T_5), измеряемых на Южно-Сахалинском газоводолитокластитовом вулкане в 9, 12 и 18 часов ежедневно, погодных условий и естественной сейсмичности в период 18 июня – 3 сентября 2005 г.

1–4 – линии роев землетрясений: 1 – 26–27 августа, 2 – 29–30 июля, 3 – 26 июня, 4 – всех прочих; 5–7 – температурные графики: 5 – в 18 часов, 6 – в 12 часов, 7 – в 18 часов; 8 – дождливые дни.

средние – в 12 часов, большое сходство графиков температуры для всех трех замеров, а также наличие достаточно отчетливых трех общих максимумов, разделенных минимумами. Однако отмечаются и некоторые специфические, сугубо индивидуальные черты. Например, резко различный характер изменений в значениях температуры: высоко изменчивый в широком диапазоне значений у одних грифонов (от 11 до 26 °С у одного из грифонов в III группе) и мало изменчивый или сглаженный с узким диапазоном значений – у других (от 13 до 20 °С у одного из грифонов в III группе, от 10 до 18 °С у грифона во II группе, от 11 до 18.5 °С у грифона в VI группе).

Газовый режим грифонов

Наблюдения за газовым режимом Южно-Сахалинского вулкана являются одним из наиболее важных моментов в выяснении динамики грифоновой деятельности. Общепринято мнение, что газ играет основную, а по нашему мнению, и ведущую роль в образовании и деятельности всех газодолитокластитовых вулканов и вулканизма вообще, причем не только во время активных извержений вулканов, но и в промежутках между извержениями, то есть во время грифоновых стадий.

В период мониторинга 2005 г. все грифоны на вулкане в той или иной степени газировали. Для измерения количества выделявшегося газа были выбраны два наиболее подходящих для этой цели грифона, сравнительно активно и устойчиво газирующих: “Напарник” из IV группы высоких конусообразных крутосклонных грифонов и один низкий пологосклонный котлообразный грифон из II группы.

Полученные графики дебита газа при сопоставлении с графиками температуры и давления окружающего воздуха (рис. 3) показывают практически полное отсутствие корреляционных связей между этими параметрами. Например, коэффициент корреляции между температурой воздуха в 18 часов и дебитом газа в то же самое время равен 0.01, а между дебитом газа в 9 часов и давлением равен 0.14.

В более стабильно газировавшем “Напарнике” преобладающий диапазон колебаний дебита газа не выходил за пределы 4–10 мл/с при абсолютном минимуме в 3 мл/с в 18 часов 3 июля и абсолютном максимуме в 16.5 мл/с в 12 часов 22 июня. Гораздо большими колебаниями в дебите газа характеризовался пологосклонный котлообразный грифон из II группы. Преобладающий диапазон колебаний в нем составлял 4–14 мл/с при почти нулевом абсолютном минимуме 1–2 сентября, причем практически во всех трех замерах в 9, 12 и 18 часов, а абсолютный максимум в 26.5 мл/с был замерен в 9 часов 17 июля. Кро-

ме того, этому грифону, в отличие от “Напарника”, в гораздо большей мере свойственна некоторая периодичность более крупного ранга – чередование сравнительно длительных этапов относительно повышенного газовыделения, разделенных более узкими промежутками относительно низкого газовыделения.

Сравнительно высокой корреляционной связью характеризуются графики дебита газа в 9, 12 и 18 часов, но в каждом из грифонов в отдельности, правда, иногда со смещением значений по времени на 1–2 суток в ту или другую сторону. Например, коэффициент корреляции графиков дебита газа в “Напарнике” в 9 и 12 часов равен 0.59, в грифоне из II группы в 9 и 12 часов равен 0.76. А коэффициент корреляции графиков дебита газа в грифоне из II группы в 9 часов и в “Напарнике” в 18 часов равен 0.01.

Отсутствие корреляции в динамике выделявшегося из грифонов газа между собой и при сопоставлении с погодными условиями говорит о непостоянном и резко изменчивом газовом режиме в каждом из двух наблюдавшихся грифонов, их сугубо индивидуальном характере поведения по этому параметру.

Динамика вещественного состава литокластитовой массы, извергаемой Главным грифоном

Полученные результаты измерений содержания различных элементов в литокластитовой массе представлены графиками по каждому из элементов (рис. 4).

Из пяти определявшихся элементов в наибольшем количестве в пробах содержался алюминий (Al) – почти до 9 мас. %. При общем разбросе значений от максимума в 8.85 мас. % для 5 августа и минимума в 6.62 мас. % для 28 августа и преобладающей средней амплитуде колебаний не более 0.3 мас. % построенный график отличается в целом весьма своеобразным ступенчатым характером. Наиболее полно и отчетливо выделяются две ступени продолжительностью около одного месяца: конец июня и большая часть июля – у первой и конец июля и большая часть августа – у второй. Каждая ступень начинается со сравнительно высоких и слабо меняющихся значений с постепенным понижением во второй половине или в конце с последующим резким скачком вверх. С этой точки зрения, интервал с 18 по 26 июня можно считать концом еще одной, первой ступени, а интервал с 29 августа по 3 сентября – началом следующей, четвертой ступени. Начавшееся в первой ступени с 18 июня постепенное уменьшение значений (с 8.51 мас. %) достигло своего минимума в 7.93 мас. % 26 июня, а уже на следующий день 27 июня содержание резко подскочило до 8.53 мас. %.

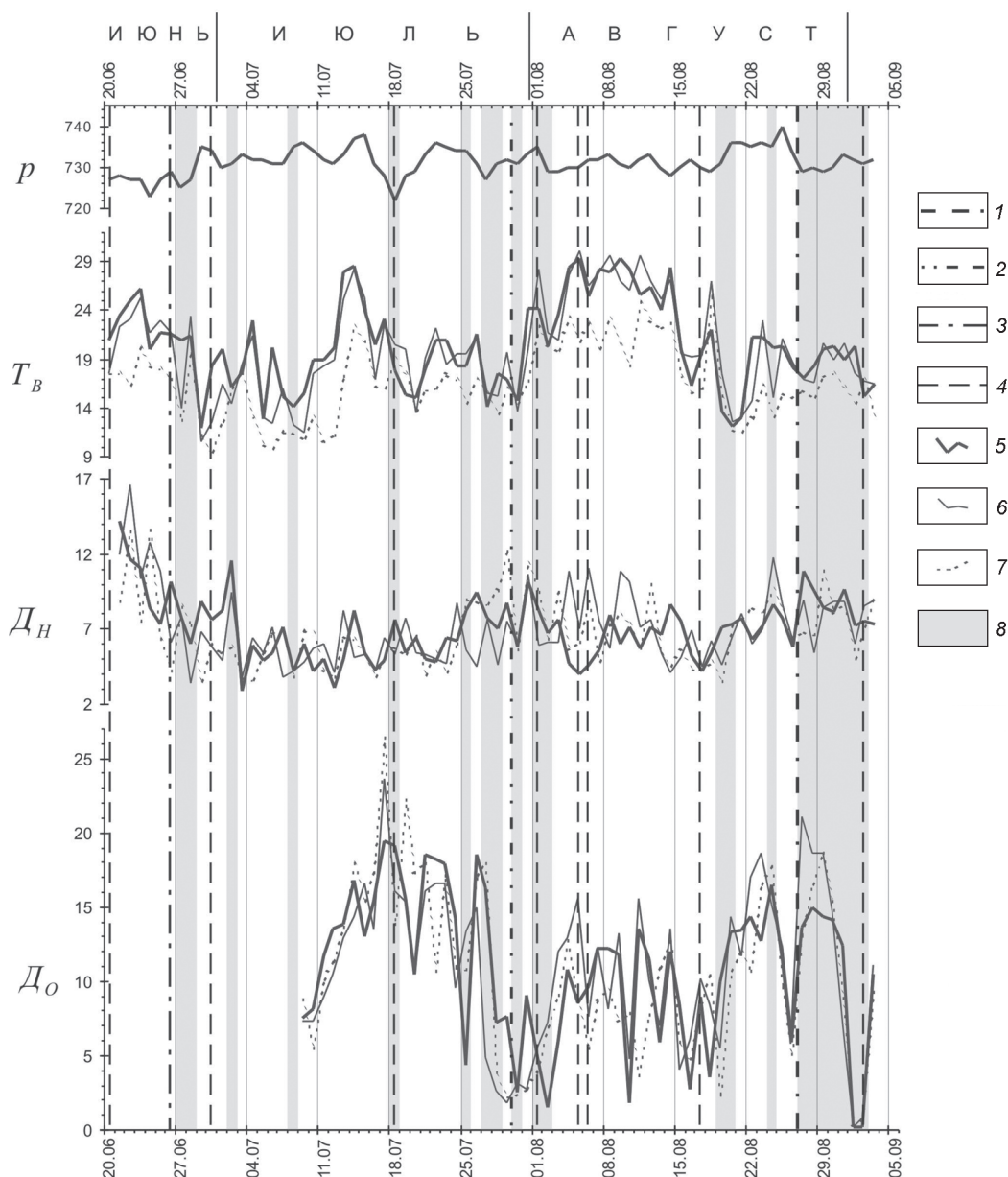


Рис. 3. Давление воздуха (p), температура воздуха (T_B) и дебит газа в “Напарнике” (D_H) и наиболее активном грифоне из II группы (D_O), замеренные на Южно-Сахалинском газоводолитокластитовом вулкане в 9, 12 и 18 часов ежедневно, погодные условия и естественная сейсмичность в период мониторинга с 18 июня по 3 сентября 2005 г.

Условные обозначения те же, что и на рис. 2.

Близкие к этому значения сохранялись в течение первой половины второй ступени до 11 (8.42 мас. %) и 12 августа (8.40 мас. %), а затем стали постепенно уменьшаться, достигнув минимума 24 (8.06 мас. %) и 27 июля (8.11 мас. %), а на следующий день 28 июля резко возросли до 8.83 мас. %, дав начало следующей, третьей ступени. Сравнительно высокие и устойчивые значения содержания Al, как правило, превышающие 8.5 масс. %, сохра-

нялись в течение двух первых декад августа, вплоть до 20 августа (8.62 мас. %), затем начали постепенно уменьшаться до 8.10 мас. % к 25 августа с резким падением 26 августа до 6.86 мас. %. Такого рода низкие значения до абсолютного минимума в 6.62 мас. % 28 августа продолжались в течение трех дней, завершив столь резкой отрицательной аномалией третью ступень на графике значений. 29 августа содержание Al вновь резко возросло до 8.37 мас. % и почти не меня-

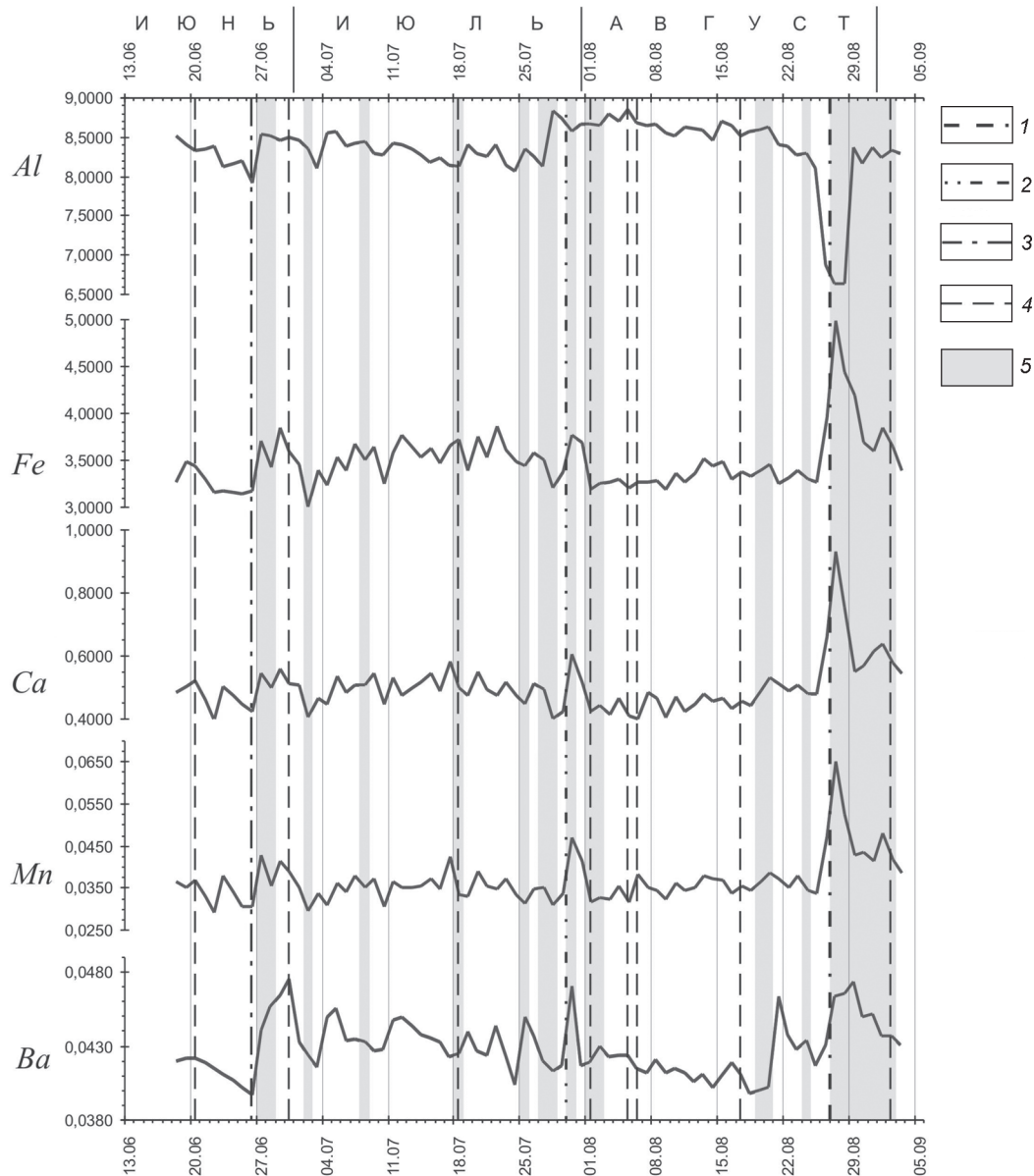


Рис. 4. Изменение содержания (в мас. %) элементов Al, Fe, Ca, Mn и Ba в жидкой литокластитовой массе, заполняющей кратерное углубление в Главном грифоне, отобранной на Южно-Сахалинском газоводолитокластитовом вулкане ежедневно в 12 часов, погодные условия и естественная сейсмичность в период 18 июня–3 сентября 2005 г.

Условные обозначения см. на рис. 2.

лось в течение пяти дней до 3 сентября, отражая начало четвертой ступени.

Второй элемент по величине содержания в пробах – железо (Fe) – отличается существенно иной динамикой поведения: заметно меньшим общим содержанием, не превышающим 5 мас. %, меньшим общим разбросом при максимальном значении 4.99 мас. % для 27 августа и минимальном в 3.00 мас. % для 2 июля. На рис. 4 выделяются четыре интервала

по характеру изменения содержания Fe во времени, в значительной мере совпадающие с четырьмя ступенями поведения Al. О первом и самом коротком интервале с 18 по 26 июня нельзя сказать ничего определенного из-за его непродолжительности. Самый широкий по времени второй интервал графика с 27 июня по 1 августа, полностью совпадающий с началом второй ступени по Al, но в целом на 5 дней более продолжительный, характеризуется заметно более

широким по сравнению с Al разбросом значений с более частыми и большими по величине амплитудами колебаний до 0.3–1.0 мас. %, без определенной тенденции к росту или понижению. Некоторые частные максимумы или минимумы по Fe смещены относительно таковых по Al на 1–2 дня, а иногда диаметрально противоположны, то есть максимумы по одному элементу соответствуют минимумам по другому. Так, характерный максимум смены по Al второй ступени третьей ступенью отвечает локальному минимуму по Fe.

Третий интервал с 1 августа по 25 августа на графике по Fe отвечает третьей ступени по Al и характеризуется в целом близкими (с очень низкими амплитудами колебаний) значениями содержания Fe в пробах. Отмечаются несколько повышенные значения в середине интервала с пониженными в начале и конце.

Наконец, последний интервал, начавшийся с 25 августа, выражен предельно резким скачком вверх 27 августа до своего максимального значения в 4.99 мас. % с последующим сравнительно постепенным уменьшением к 3 сентября до своих средних значений. Максимальные значения по Fe, отмеченные в течение четырех дней с 26 по 29 августа с максимумом 27 августа, достаточно строго соответствуют минимальным значениям по Al, отмеченным в течение трех дней с 26 по 28 августа с абсолютным минимумом 28 августа.

Динамика поведения содержания следующего элемента – кальция (Ca) – очень близка или сходна с таковой Fe (коэффициент корреляции 0.88), хотя по общему содержанию в пробах, меняющемуся в пределах от 0.40 (22 июня) до 0.93 (27 августа) мас. %, Ca значительно уступает и Fe (в 3–4 раза), и Al (в 6–9 раз). На графике содержания Ca, аналогично с графиком по Fe, отчетливо различаются все те же четыре интервала с очень сходным характером поведения содержания. Первый или начальный интервал, без определенных закономерностей из-за его непродолжительности, длится с 18 июня по 26 июня. Второй интервал с относительно большим разбросом значений и амплитуд колебаний длится с 27 июня по 1 августа. Третий интервал с маломеняющимися в малоамплитудном режиме значениями длится с 1 августа по 25 августа. Четвертый интервал с резким скачком до своих наибольших значений в течение трех последующих дней длится с 26 по 28 августа с максимальным значением 27 августа и последующим неравномерным снижением к 3 сентября до среднего уровня. Высокая корреляционная связь между графиками по Fe и Ca выражается в полном и строгом совпадении

(вплоть до формы записи) почти всех частных минимумов и максимумов. Предельно четко совпадают максимумы максимальных значений 27 августа. Некоторым отличием является несовпадение по времени абсолютных минимумов (3 июля по Fe и 22 июня по Ca), а также достаточно отчетливо выраженная на графике по Ca тенденция к общему повышению значений на третьем интервале, почти полностью отсутствующая на графике по Fe.

Почти идентично динамике Fe и Ca поведение следующего элемента – марганца (Mn) (коэффициенты корреляции, соответственно, 0.86 и 0.93), хотя его содержание в пробах на целый порядок меньше, чем Ca. Пределы содержания Mn составляют от 0.029 (22 июня) до 0.065 (27 августа) мас. %. Здесь выделяются все те же (почти идентичные по характеру поведения содержания элемента) четыре совершенно одинаковых по длительности временных интервала с достаточно строгим совпадением едва ли не всех частных минимумов и максимумов, не говоря уже о вполне ожидаемом строгом совпадении абсолютных максимумов у всех трех элементов 27 августа. В дополнение к абсолютным максимумам, выявились некоторые новые характерные общие максимумы, например, характерный максимум 30 июля на границе второго и третьего интервалов, явно знаменующий смену динамического режима в поведении всех трех рассматриваемых элементов – Fe, Ca и Mn.

Динамика содержания бария (Ba) является резко отличной от динамики всех ранее рассмотренных элементов. Хотя по общему содержанию в пробах Ba близок к Mn (пределы содержания составляют 0.040–0.048 мас. %), его график содержания хуже коррелируется не только с Mn, но и с Fe и Ca (коэффициенты корреляции, соответственно, 0.47, 0.58 и 0.54). Отмечается и общая неупорядоченность в частных значениях, и отсутствие свойственных другим элементам четких интервалов характерного преобладающего поведения, хотя некоторые интервалы можно выделить, например, первый, начальный интервал с 18 по 26 июня сравнительно низких (с общим постепенным понижением) значений и второй интервал с 27 июня по 30 июля с широким разбросом значений. Третий интервал с малоамплитудно меняющимися значениями гораздо короче, чем у других элементов, заканчивается не 25 августа, а 18 августа, причем с явно выраженной тенденцией уменьшения значений. За счет этого последний, четвертый интервал по времени резко увеличился, образовав два примерно одинаковых локальных максимума, разделенных общим локальным минимумом, которые не совпадают с локальными максимумами и минимумами

у других элементов в четвертом интервале. Абсолютный максимум у Ва наблюдается не в конце общего периода наблюдений – 27 августа, как у других трех элементов (Fe, Ca и Mn), а в начале периода – 30 июня. Причем этот максимум не столь резко отличается по своей величине от остальных гораздо более многочисленных максимумов на графике Ва, в отличие от других трех элементов, у которых эти максимумы и по величине, и по общей значимости были единственными в своем роде и гораздо выше по сравнению с остальными значениями.

Региональная и локальная естественная сейсмичность Сахалина

О. Сахалин, входит в западную островодужную половину знаменитого Тихоокеанского огненного кольца с высокой современной тектонической активностью, вулканизмом и естественной сейсмичностью. Современная естественная сейсмичность Сахалина, прежде всего, отчетливо выраженной пространственной и временной дискретностью – региональной и локальной. Пространственная региональная сейсмическая дискретность выражается в существенно неравномерном распространении эпицентров и гипоцентров землетрясений. Она представлена на Сахалине тремя – северным, центральным и южным – относительно сейсмически повышенно-опасными районами [3–5, 6, 8, 12, 15, 16], с частыми и сравнительно сильными и интенсивными землетрясениями. Эти районы разделены двумя районами относительного сейсмического покоя со сравнительно редкими и слабыми по силе (магнитуде) и интенсивности (балльности) землетрясениями. К районам относительного сейсмического покоя относится территория Восточно-Сахалинских гор в центральной части Сахалина и район Сусунайского и Тонино-Анивского хребтов на юге острова. Сейсмологически повышенно-опасные центральный и южный районы охватывают западную половину южной части Сахалина, отвечающую в целом Западно-Сахалинским горам, соответствующим, в свою очередь, одноименному молодому плиоцен-четвертичному орогенно-антиклинорному сооружению, восточное крыло которого осложнено крупным продольным современно активным (сейсмогенным) Тымь-Поронайским или Центрально-Сахалинским взбросо-надвигом. Периодически проявляющиеся по этому взбросо-надвику и оперяющим его второстепенным разломам подвижки и вызывают наблюдаемые в этих двух районах землетрясения.

Пространственно-временная дискретность в естественной сейсмичности имеет не только региональный, но и узко локальный характер – неравно-

мерное проявление землетрясений внутри выделенных сейсмически повышенно-опасных районов. В южном районе локальная пространственно-временная дискретность выражена в отчетливо неравномерном распределении эпицентров землетрясений (пространственная дискретность) и неравномерном проявлении землетрясений во времени (временная дискретность). Пространственная дискретность на юге Сахалина хорошо видна в виде разного рода сгущений эпицентров землетрясений на фоне сравнительно редких и неравномерно рассеянных на всей территории южной части Сахалина и окружающих его акваторий. Практически на всех составлявшихся разными авторами (М.Д. Ферчев, Л.С. Оскорбин, С.Л. Соловьев, И.Н. Тихонов, Л.Н. Поплавская, О.А. Мельников и др.) картах сейсмичности в южном повышенно-опасном районе хорошо выделяются или пространственно обособляются два подрайона сгущения эпицентров землетрясений – вокруг о. Монерон и вдоль западной половины Сахалина между широтами Невельск–Анива на юге и Чехов–Долинск на севере. Внутри последнего подрайона выделяется ряд более мелких по площади сгущений эпицентров землетрясений. Пространственно-временная неравномерность в проявлении естественной сейсмичности хорошо видна не только на картах, отражающих итоги многолетних наблюдений, но и по результатам наблюдений в течение нескольких месяцев, если учитываются толчки с наименьшими магнитудами до 0.1, фиксируемые на поставленных на юге Сахалина цифровых сейсмостанциях. Это хорошо видно на составленной нами схематической структурно-формационной карте южной части Сахалина (рис. 5), на которую нанесены эпицентры всех землетрясений, произошедших в период с 18 июня по 3 сентября 2005 г., периода мониторинга на Южно-Сахалинском газоводолитокластитовом вулкане. На карте, наряду с беспорядочно разбросанными единичными эпицентрами, хорошо видны сгущения в виде резко сближенных в пространстве и во времени 11 группировок или роев эпицентров землетрясений с разным числом отдельных толчков (от 4 до 24) и эпицентрально-расстояниями от 3 до 120 км.

Пространственно-временная дискретность хорошо проявляется и на уровне их гипоцентров. Это отчетливо видно на построенном поперечном структурно-геоформационном разрезе или профиле (рис. 6), на который вынесены ближайшие к нему (в пределах зоны шириной до 30 км) гипоцентры землетрясений как для одиночных, так и для групповых толчков. Пространственная дискретность в распре-

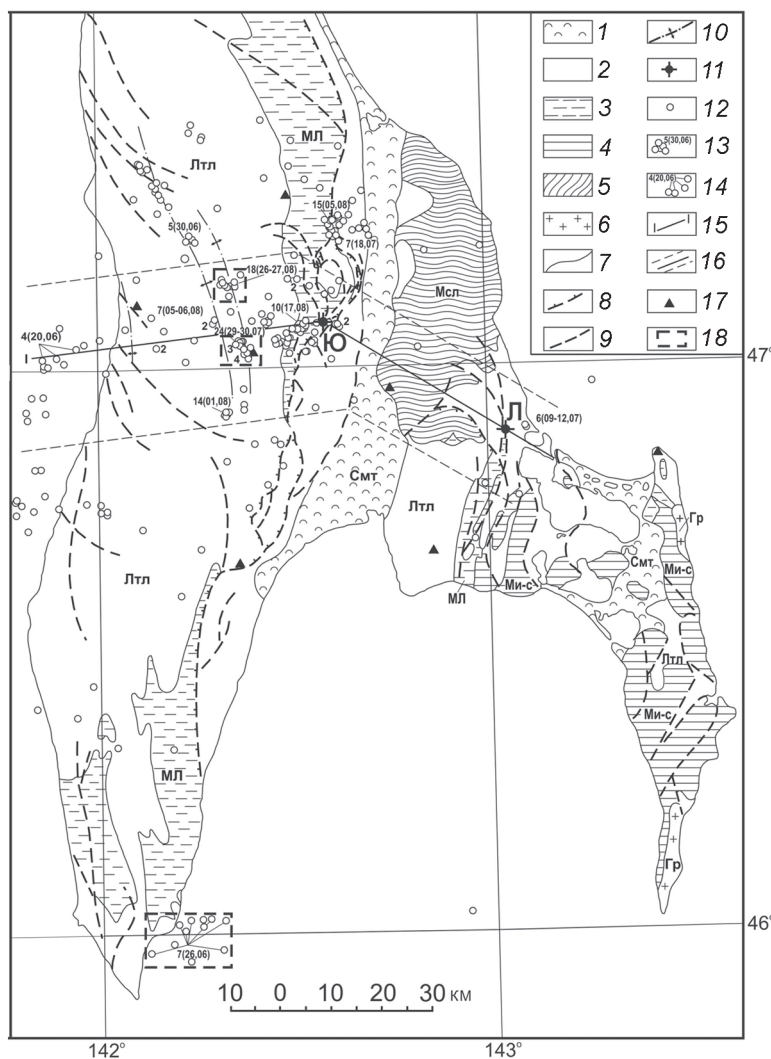


Рис. 5. Схематическая структурно-формационная карта южной части Сахалина с данными о сейсмичности в период с 18 июня по 03 сентября 2005 г.

1–6 – надформации, мегаформации, формации: 1 – седиментитовая четвертичная надформация – Смт, 2 – литолитовая (вулканит-кремнисто-обломочная) палеоген-неогеновая надформация – Лтл, 3–5 – мегаформации метаморфитовой палеозой-мезозойской надформации: 3 – метаобломочно-литолитовой меловой – МЛ, 4 – металитовой мезозойской – Ми-с, 5 – метаморфитовой (сланцевой) палеозой-мезозойской – Мсл; 6 – гранитоидная формация – Гр; 7 – границы между надформациями, мегаформациями и формациями; 8–9 – дизъюнктивные дислокации: 8 – наиболее крупные взбросо-надвигового типа, 9 – прочие разной модификации; 10 – осевые линии некоторых положительных пликтивных дислокаций (антиклиналей); 11 – газоводолитокластитовые вулканы: Южно-Сахалинский – Ю, Лесновский – Л; 12–14 – местоположение эпицентров землетрясений, иногда с указанием числа толчков и даты: 12 – единичных, 13 – очень тесно сближенных в пространстве и во времени группировок или роев, 14 – то же, что и 13, но только во времени, а в пространстве – довольно разбросанных; 15 – линия профиля, проходящего через газоводолитокластитовые вулканы; 16 – ограничительные линии спроецированных на профиль землетрясений; 17 – сейсмостанции; 18 – местоположение группировок землетрясений, получивших отражение в динамике вещественного состава.

делении гипоцентров на структурно-геоформационном разрезе выражена двояко. Во-первых, эпицентры землетрясений распределяются в явной близости к положению Южно-Сахалинского газоводолитокластитового вулкана, точнее к западу от него, а во-вторых, тяготеют к некоторому общему уровню на глубине 4–6 км, прослеживаемому почти вдоль всего разреза. Если рассеянно-единичные землетрясения отмечаются на любой глубине до максимальных значений (11–12 км), то многочисленные близлежащие к вулкану землетрясения оказываются большей частью сгруппированными в рои, охватывающие весь диапазон глубин от приповерхностных землетрясений (1–2 км) до максимально глубоких (12 км).

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Наиболее важными результатами, полученными во время проведенного нами непрерывного мониторинга летом 2005 г., являются данные по динамике

вещественного состава литокластитовой массы в Главном грифоне и естественной сейсмичности на юге Сахалина в период мониторинга.

На структурно-геоформационном разрезе (рис. 6) хорошо виден резко различный характер естественной сейсмичности в зависимости от положения гипоцентров внутри той или иной геологической формации, внутри того или иного структурно-геоморфологического элемента. Исключительно редки (единичны) землетрясения внутри формации метаморфических сланцев метаморфической надформации, слагающей Сусунайский хребет и его восточные предгорья – ядро древнего (мел-палеогенового) видоизмененно-реликтового Сусунайско-Анивского антиклинория. Очевидно, породы метаморфитовой надформации и слагаемый ими Сусунайско-Анивский антиклинорий являются сравнительно прочными и устойчивыми (добротными) как в накоплении, так и в разрешении накопленных в них напряжений.

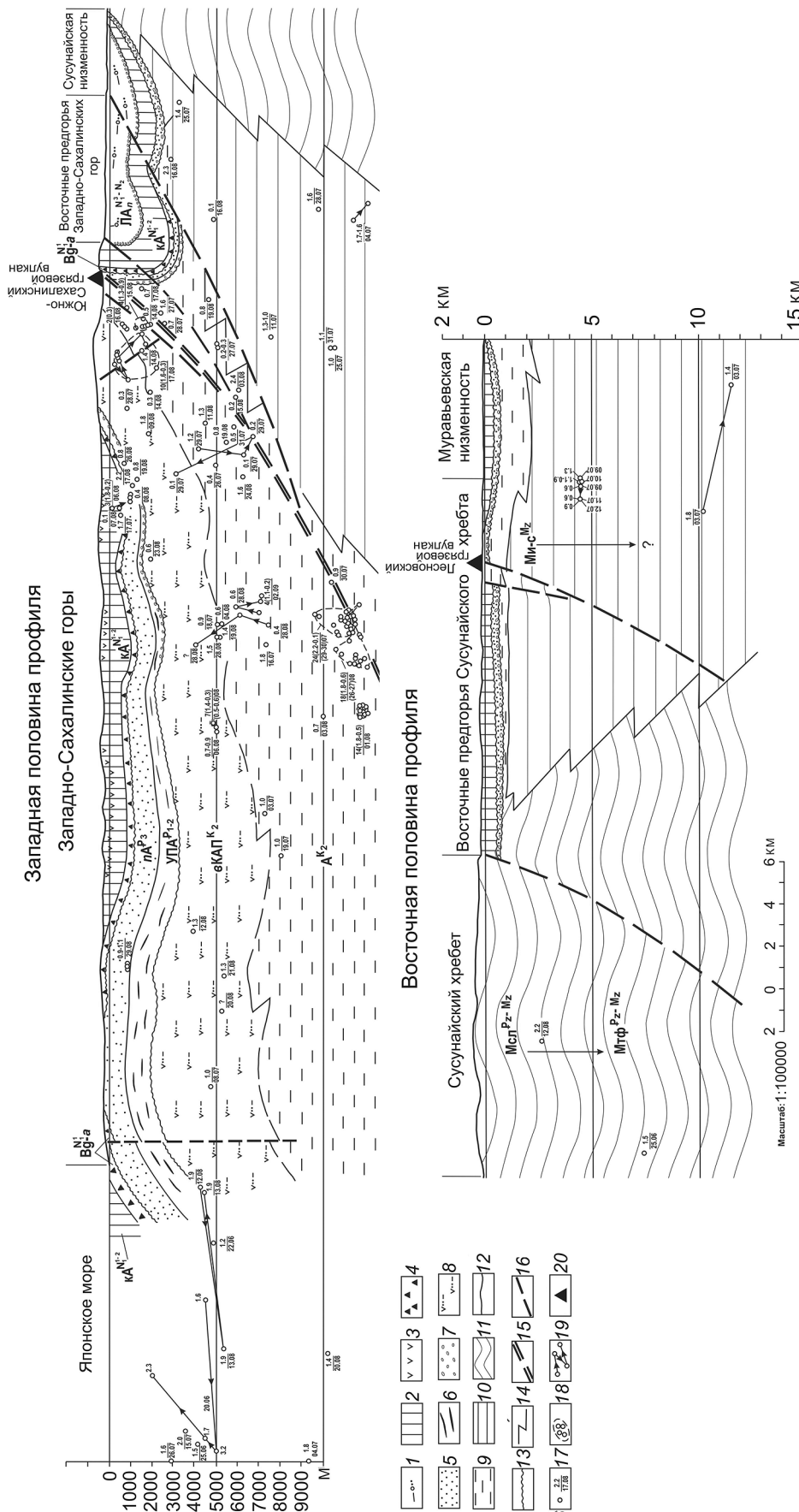


Рис. 6. Структурно-формационный профиль г. Холмск – пос. Охотское через Южно-Сахалинский и Лесновский газодолитокластитовые вулканы с вынесенными на него близрасположенными гипоцентрами землетрясений, произошедших в период с 18.06 по 03.09.2005 г.

1–9 – геологические элементарные формации: 1 – лигнит-конгломератно-песчаная позднемiocен-плиоценовая – ЛКп^{N¹-N²}, 2 – кремнистых алевролитов и аргиллитов ранне-среднемiocеновая – кА^{N¹-2}, 3 – вулканитовая андезитовая среднемiocеновая – В а-б^{N¹}, 4 – вулканитовая дацит-андезитовая раннемиоценовая – В д-а^{N¹}, 5 – песчаных алевролитов и аргиллитов олигоценовая – пА^B, 6 – угленосно-песчаник-алевролитово-аргиллитовая палеоцен-эоценовая – УПА^B, 7 – песчаник-конгломератная разновозрастная – ПК, 8 – вулканит-конгломерат-алевролитово-песчаниковая позднемеловая – вКАП^K, 9 – алевролитово-аргиллитовая позднемеловая – А^K, 10 – металитовая мезозойская мегаформация – М_{и-с}^{Mz}; 11 – формация метаморфических сланцев палеозойско-мезозойской надформации – Мтф^{Pz-Mz}; 12–14 – границы элементарных формаций, мегаформаций, надформаций; 12 – согласные, 13 – несогласные, 14 – замещения; 15–16 – дизъюнктивные дислокации; 15 – основной сместитель Тымь-Поронайского взбросо-навига, 16 – прочие дизъюнктивные дислокации; 17–19 – вынесенные на профиль гипоцентры землетрясений; 17 – одиночных толчков с указанием магнитуды в числителе и даты в знаменателе, 18 – то же, что и 17, но для роя или группировки толчков; 19 – то же, что и 17, но для нескольких последовательных землетрясений; 20 – газодолитокластитовые вулканы.

Сравнительно чаще, но в явно рассеянном виде, встречаются землетрясения в менее метаморфизованной металитовой мегаформации, слагающей крылья Сусунайско-Анивского антиклинория под предгорьями Сусунайского хребта, Сусунайской и Муравьевской низменностями. По всей видимости, эти породы и слагаемые ими структуры также достаточно устойчивы и добротны к накоплению и разгрузке накапливаемых в них напряжений.

Большинство гипоцентров, как в рассеянном, так и в сгруппированном в рои виде, сосредоточено под Западно-Сахалинскими горами в неметаморфизованных породах позднемеловой метаобломочно-литолитовой мегаформации и палеоген-неогеновой литолитовой надформации, слагающих молодой новообразованный Западно-Сахалинский антиклинорий. Сводовая часть и западное крыло этого антиклинория надвинуты на восточное крыло по наиболее крупному практически по всем параметрам – длине, амплитуде, достоверности, активности или сейсмогенности и т.д. – Тымь-Поронайскому или Центрально-Сахалинскому взбросо-надвику, на котором буквально “сидит” Южно-Сахалинский газоводолитокластитовый вулкан.

Тымь-Поронайский или Центрально-Сахалинский разлом рисуют чаще всего в виде одной прямолинейно-ломаной линии, отвечающей выходу разлома на дневную поверхность. Данные, полученные нами в результате специального крупномасштабного (1:25 000) геоформационного картирования достаточно широкой (до 15–20 км), прилегающей к разлому зоны на участке от пос. Быков на севере до г. Анива на юге, заставляют отказаться от прежних представлений. По нашим данным [8], разлом состоит из главного, или основного сместителя (рис. 6), в плане выхода на дневную поверхность прихотливо-дугообразно изогнутого, иногда удвоенно или даже утроенно ветвящегося, сопровождаемого по обе стороны отходящими от него множественными, не менее прихотливо-изогнутыми в плане второстепенными или оперяющими разрывами разных размеров и модификаций: надвигами, взбросо-надвигами, взбросами – однонаправленно-наклоненными, встречными, шарнирно-клавишными [9].

Зона Тымь-Поронайского взбросо-надвига вблизи Южно-Сахалинского вулкана, судя по составленной нами крупномасштабной геоформационной карте, по всей видимости, является наиболее сложной по своему строению на рассматриваемом участке от пос. Быков на севере до г. Анива на юге. Непосредственно к северу от вулкана основной сместитель Тымь-Поронайского разлома, на котором вулкан и

расположен, разветвляется на три примерно одинаковых по основным своим параметрам – протяженности, модификации (надвиги) и амплитуде – ветви. Эти ветви образуют в целом сложную чешуйчато-надвиговую структуру мультислойной в плане формы, причем ограничивающие эту структуру две крайние ветви при подходе к пос. Быков вновь сходятся в единый разлом типа взбросо-надвига, ограничивая тем самым со всех сторон общую крупную надвиговую пластину. Внутри этой крупной надвиговой пластины за счет средней надвиговой ветви и западной ограничивающей надвиговой ветви образована еще одна дополнительно-осложняющая подобная надвиговая пластина меньшего размера. К западу и к востоку от основного сместителя или его ветвей отходят многочисленные оперяющие разрывы. По два таких разрыва отходят от главного сместителя и вблизи Южно-Сахалинского вулкана: два шарнирно-клавишных разрыва к западу – Перевальный и Сусуя-Рогульский [9], два разрыва к востоку – Близтуннельный взбросо-надвиг и Апрельский, или Троицкий, надвиг [7]. Плоскости сместителей всех этих разрывов, за исключением Перевального, вблизи вулкана, как и у главного сместителя, наклонены на запад под предполагаемым углом в 60° – 70° . Хотя у Апрельского, или Троицкого, надвига, непосредственно наблюдавшегося в обнажениях, плоскость сместителя имеет гораздо более пологий наклон – не более 20° – 25° [8].

С большой вероятностью предполагается сходение и выполаживание с глубиной всех наклоненных на запад разрывов, в том числе и главного сместителя Тымь-Поронайского взбросо-надвига. Это в какой-то мере подтверждается построенным нами структурно-формационным разрезом через Южно-Сахалинский газоводолитокластитовый вулкан (рис. 6). При показанном на этом разрезе положении главного сместителя отчетливо видно, что главный сместитель четко разграничивает два блока – надвиговый западный и поднадвиговый восточный – с резко различным распределением гипоцентров землетрясений в них: многочисленными и зачастую сгруппированными в рои в западном надвиговом блоке и редкими, хаотически рассеянными в восточном поднадвиговом блоке.

В западном надвиговом блоке непосредственно к главному сместителю Тымь-Поронайского взбросо-надвига приурочено не только подавляющее большинство гипоцентров землетрясений, распространенных вдоль всей его вероятной глубины проникновения, едва ли не от дневной поверхности до 11–12 км, а также почти все наиболее крупные по числу толчков группировки или рои землетрясений. Два самых крупных по числу толчков рои в 18 и 24 толчка,

расположенных на глубине в 11–12 км, размещаются на предполагаемой плоскости главного сместителя Тымь-Поронайского взбросо-надвига. Такое явно неслучайное распределение гипоцентров землетрясений говорит о превалирующей концентрации накапливающихся и разрешающихся напряжений в западном надвиговом крыле Тымь-Поронайского взбросо-надвига, а также о возможных подвижках по нему самому. Тогда поле напряжений, накапливаемых в западном надвиговом крыле, и их разрядка в виде землетрясений вблизи Тымь-Поронайского взбросо-надвига, с одной стороны, и общая высокая флюидная проницаемость сместителя вплоть до выхода на дневную поверхность Южно-Сахалинского газовой долитокластитового вулкана, с другой, должны быть тесно связаны. Другими словами, эта система (землетрясение – разлом – вулкан) должна работать в тесном причинно-следственном режиме. Соответственно, динамика естественной сейсмичности должна найти отражение в динамике газовой долитокластитового вулканизма, в частности, в динамике вещественного состава извергаемой вулканом литокластитовой массы, не только во время периодических бурных извержений, но и в более длительные периоды между такими извержениями – в грифонную стадию деятельности.

Некоторым подтверждением этому явился упомянутый выше кратковременный мониторинг летом 2001 г. (с 13 по 23 июля) на Южно-Сахалинском вулкане. Согласно полученным ими результатам [2], за 2–3 дня до начавшегося 24 июля 2001 г. роя землетрясений в Долинском районе (примерно в 20 км севернее вулкана) наметился закономерный рост ряда измеренных параметров. Такими параметрами являлись дебит газа в грифоне, температура литокластитовой массы в грифоне, отношения содержания элементов Fe, Ca, Mn, Ba к содержанию Al в литокластитовой массе. Максимальные значения этих параметров были отмечены при разовом замере спустя три недели после начала роя землетрясений (17 августа 2001 г.).

Подтверждением этому явились и полученные нами во время мониторинга летом 2005 г. результаты по динамике вещественного состава литокластитовой массы в Главном грифоне, выраженной динамикой содержания пяти элементов (Al, Fe, Ca, Mn и Ba), представленные на графиках (рис. 4). На эти графики пунктирными линиями разного стиля нанесены рои землетрясений с количеством толчков, равным четырем и более. С 18 июня по 3 сентября таких роев землетрясений было 11, из них на графиках вещественного состава получили то или иное отражение лишь три роя землетрясений.

1. Рой из 7 толчков 26 июня южнее п-ова Крильон – в виде отчетливого скачка увеличения значений у всех пяти элементов при переходе от первого динамического интервала ко второму. Особенно отчетливо этот скачок выражен у Al и Ba, у которых скачку предшествует конечная часть первого динамического интервала с хорошо проявленной тенденцией постепенного уменьшения значений.

2. Рой из 24 толчков в самом конце 29 и начале 30 июля с эпицентрами в среднем течении р. Тиобут (левый приток р. Лютоги) вблизи пос. Чистоводное – в виде характерного, отчетливо выраженного высокого пика частного максимума 30 июля у всех четырех элементов (Fe, Ca, Mn и Ba). Причем у первых трех элементов этому высокому пику частного максимума более недели предшествовала тенденция общего переменного-постепенного снижения значений. У Al этому рою землетрясений предшествовал резкий возрастающий скачок в значениях с 27 на 28 июля, разделяющий второй и третий динамически различные интервалы в поведении этого элемента, отвечающие характерным для него ступеням с тенденцией к постепенному понижению в конце ступеней.

3. Рой из 18 толчков в самом конце 26 и в самом начале 27 августа с эпицентрами в верховьях р. Лютоги – в виде резко аномального изменения в содержании всех элементов. Отмечаются резкое аномальное уменьшение у Al в течение трех дней 26, 27 и 28 августа и резкое аномальное увеличение у четырех остальных элементов, особенно у Fe, Ca и Mn, в течение тех же трех дней 26, 27 и 28 августа.

Чем объясняется, что только три этих роя из одиннадцати, а из этих трех роев особенно два последних получили столь значимое и характерное отражение на графиках вещественного состава литокластитовой массы из Главного грифона Южно-Сахалинского газовой долитокластитового вулкана? По-видимому, эти три роя и особенно два последних – 29–30 июля и 26–27 августа – теснее всего были связаны с системой землетрясение–разлом–газовой долитокластитовый вулкан (грифон), связанного с этим разломом. Судя по построенному структурно-формационному разрезу (рис. 6), именно два этих роя теснее всего связаны с основным сместителем Тымь-Поронайского взбросо-надвига, отражая, возможно, местоположение одного из очагов вулкана. Некоторым подтверждением этому является и примерно одинаковая в 11–12 км глубина гипоцентров у большинства толчков, входящих в оба этих роя землетрясений, а также наибольшее количество самих толчков – 24 и 18 в каждом из них – из всех зафиксированных в это время роев в данном районе.

Несколько иное положение в этом отношении занимает рой 26 июня южнее п-ова Крильон, выраженный на указанных графиках вещественного состава резким уступом повышения содержания всех пяти элементов при переходе от первого временного интервала с малоамплитудными колебаниями значений с отчетливой тенденцией к уменьшению у Al и Ba ко второму высокоамплитудному временному интервалу. Во-первых, все 7 толчков, входящих в этот рой, произошли не на суше, а в акватории Анивского залива; во-вторых, гипоцентры этих толчков располагались на гораздо меньших глубинах – 3–5 км; в-третьих, все толчки этого роя обладали гораздо большей магнитудой – от 2 до 4.6, тогда как в двух других роях магнитуда толчков не превышала 2.2; в-четвертых, Крильонский рой землетрясений находился в 120 км от Южно-Сахалинского газоводолитокластитового вулкана при 17–19 км у двух других роев. Правда, при всех этих отличиях Крильонский рой землетрясений мог быть связан с Тымь-Поронайским взбросо-надвигом, его южным продолжением под водами Анивского залива к юго-востоку от полуострова Крильон. По-видимому, все вышеперечисленное и сказалось на динамических особенностях вещественного состава литокластитовой массы в Главном грифоне Южно-Сахалинского газоводолитокластитового вулкана.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Южно-Сахалинский газоводолитокластитовый вулкан во время сравнительно продолжительных грифонных стадий между кратковременными бурными извержениями сохранял относительное постоянство по большинству своих наиболее существенных геоморфологических особенностей: общему числу, местоположению, форме и характеру деятельности грифонов и их группировок.

2. Замерявшийся во время непрерывного долговременного мониторинга летом 2005 г. температурный режим в 16 грифонах различного типа предопределялся в основном местными погодными условиями, прежде всего температурой окружающего воздуха.

3. Дебит газа, измеряемый в двух наиболее активных грифонах, довольно резко и слабоупорядоченно менялся в ходе мониторинга независимо от погодных условий, предопределяясь, по-видимому, какими-то сугубо индивидуальными особенностями самих грифонов.

4. В динамике вещественного состава литокластитовой массы, заполнявшей кратерное углубление в Главном грифоне, по содержанию в ней пяти замерявшихся элементов – Al, Fe, Ca, Mn и Ba – выделя-

ются четыре общих интервала, характеризующихся сходными или одинаковыми динамическими особенностями с резкой и практически одновременной у всех пяти элементов сменой этих особенностей при переходе от одного интервала к другому. Наибольшей выразительностью и закономерностью (ступенчатым характером поведения на графике) отличается динамика содержания Al: тенденцией к постепенному снижению вплоть до резкого уменьшения в конце каждого интервала и не менее резкого возвращающегося возрастающего скачка в начале нового интервала.

5. Установлена региональная и локальная дискретность в динамике естественной сейсмичности: на фоне беспорядочного распространения единичных землетрясений выделяются 11 тесно сближенных во времени и пространстве группировок или роев землетрясений (от 4 до 24 толчков). Из них три роя – 26 июня (7 толчков), 29–30 июля (24 толчка) и 26–27 августа (18 толчков) – строго совпадают по времени с границами динамических интервалов в содержании всех пяти замерявшихся элементов – Al, Fe, Ca, Mn и Ba. Это объясняется непосредственной связью этих трех роев (в отличие от остальных роев) с главным сместителем Тымь-Поронайского или Центрально-Сахалинского взбросо-надвига, с которым связан Южно-Сахалинский газоводолитокластитовый вулкан.

Таким образом можно считать доказанной предполагаемую многими исследователями [1, 2, 4, 7, 10, 11, 14, 17–20] прямую связь между газоводолитокластитовым (“грязевым”) вулканизмом и естественной сейсмичностью, впервые установленную на Южно-Сахалинском вулкане в 2001 г. [2]. Более того, всем вышеизложенным можно считать доказанным, что наибольшей ролью в этой связи обладает Al, причем не только просто констатирующей, но и весьма вероятной прогностической ролью – тенденцией к постепенному снижению содержания Al за несколько дней (за неделю) до возможного сейсмического события.

6. В течение многих лет устойчиво сохраняется приуроченность подавляющего большинства грифонов Южно-Сахалинского вулкана к проходящей непосредственно через него грифонной полосе северо-восточного простираения. Данная полоса сравнительно строго совпадает с предполагаемым положением и простираением выхода на поверхность основного сместителя Тымь-Поронайского, или Центрально-Сахалинского взбросо-надвига – наиболее крупного современного активного и сейсмогенного разлома на Сахалине. Это однозначно указывает на прямую причинно-следственную связь между такого рода разломами и газоводолитокластитовым вулканизмом не

только на уровне местоположения и действия во время извержений вулканов этого типа, но и на уровне местоположения и действия подавляющего числа грифонов во время грифонной стадии между извержениями.

7. Основным энергетически-динамическим фактором, определяющим деятельность грифонов Южно-Сахалинского газоводолитокластитового вулкана, всех вулканов этого типа не только на Сахалине, но и во всем мире, а также всего вулканизма вообще, является газ смешанного переменного состава как результат общей сосредоточенной дегазации Земли, начавшейся на самых ранних этапах становления ее как планеты и продолжающейся до сих пор.

В заключение следует сказать несколько слов о наиболее вероятном теоретическом объяснении связи динамики вещественного состава литокластитовой массы Южно-Сахалинского газоводолитокластитового вулкана, как и любого вулкана такого типа, с естественной сейсмичностью – причинно-следственной связи физической флюидно-проницаемой системы: землетрясение – разлом – газоводолитокластитовый вулкан (грифон). По общепринятому убеждению, подавляющее большинство землетрясений – это разрядка постепенно накапливаемых в земной коре напряжений в виде подвижек по активным сейсмогенерирующим разломам. Подвижки в разломах типа взброса, надвига и взбросо-надвига – результат разрядки напряжений, накопленных в условиях сжатия. Сжатие любой пористо-проницаемой среды ведет к уменьшению или сокращению общего порового пространства пород и к уменьшению их проницаемости, и флюидной проницаемости вообще, в том числе и в системе землетрясение – разлом – вулкан. Подвижка по разлому, выраженная землетрясением, приводит к снятию, хотя бы частичному, накопленных напряжений сжатия, к резкому увеличению объема общего порового пространства и резкому увеличению проницаемости вообще и системы землетрясение – разлом – вулкан (грифон), в частности. Любой флюид, его вещественный состав, участвующий в такой системе, должен как-то реагировать на такого рода изменения. Любые подвижные элементы, в каком бы виде и количестве они не присутствовали в составе флюида, в условиях сжатия и сокращения порово-проницаемого пространства должны естественно количественно уменьшаться. Соответственно, при резком снятии напряжений сжатия при подвижках по разломам во время землетрясений они должны столь же резко количественно возрастать, что мы и наблюдаем в динамике вещественного состава замерявшихся нами пяти элементов в Главном

грифоне Южно-Сахалинского газоводолитокластитового вулкана. Соответствующий характер поведения отмечается у всех пяти элементов, с некоторыми индивидуальными особенностями у каждого элемента в отдельности, но особенно впечатляюще у Al. Это, возможно, объясняется либо наибольшим содержанием этого элемента в составе литокластитовой массы из пяти замеряемых элементов, либо наибольшей эманационной подвижностью в составе флюида, циркулирующего в системе очаг землетрясения – разлом – вулкан, либо какими-то еще специфическими геохимическими особенностями этого элемента.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (грант № 05-05-64124).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиев Ад.А. Грязевой вулканизм Южно-Каспийского нефтегазоносного бассейна // Геология Азербайджана. Т. 7 (Нефть и газ). Баку: "Нафта-Пресс", 2006. С. 21–47.
2. Астахов А.С., Сергеев К.Ф., Мельников О.А. и др. Динамика процессов дефлюидизации Центрально-Сахалинского глубинного разлома при сейсмической активизации (по результатам мониторинга Южно-Сахалинского грязевого вулкана в июле–августе 2001 г.) // Докл. РАН, 2002. Т. 386, № 2. С. 1–6.
3. Мельников О.А. О взаимосвязи геологического строения и сейсмичности Сахалина // Сейсмическое районирование Сахалина. Владивосток, 1977. С. 46–51.
4. Мельников О.А., Ильев А.Я. О новых проявлениях грязевого вулканизма на Сахалине // Тихоокеан. геология. 1989. № 3. С. 42–49.
5. Мельников О.А. К вопросу об оценке максимальной балльности ожидаемых землетрясений и о региональном сейсмическом районировании // Федеральная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений: Информ.-аналит. бюл. (Нефтегорское землетрясение 27 (28) мая 1995 г.). Москва, 1995. С. 208–214.
6. Мельников О.А. К вопросу об оценке максимальной балльности ожидаемых землетрясений и о региональном сейсмическом районировании // Геология и геодинамика Сихотэ-Алинской и Хоккайдо-Сахалинской складчатых областей. Т. 1. Южно-Сахалинск, 1997. С. 150–159.
7. Мельников О.А. Южно-Сахалинский газоводолитокластитовый ("грязевой") вулкан – уникальный объект природы на Дальнем Востоке России. Южно-Сахалинск, 2002. 48 с.
8. Мельников О.А. Дислокации и сейсмичность южной части зоны Тымь-Поронайского взбросо-надвига // Тектоника, геодинамика, магматизм, металлогения и сейсмичность Тихоокеанского сегмента Земли. Южно-Сахалинск, 2002. С. 50–88.
9. Мельников О.А. О шарнирно-клавишных разломах на о. Сахалин и их значении // Тектоника, геодинамика, магматизм, металлогения и сейсмичность Тихоокеанского сегмента Земли. Южно-Сахалинск, 2002. С. 29–37.
10. Мельников О.А., Рыбин А.В., Жарков Р.В. О новом очередном бурном извержении на Сахалине Южно-Сахалинского газоводолитокластитового ("грязевого") вулкана зимой 2001–2002 гг. // Проблемы развития и освоения мине-

- рально-сырьевой базы Сахалинской области. Южно-Сахалинск, 2003. С. 57–97.
11. Мельников О.А., Сергеев К.Ф., Рыбин А.В., Жарков Р.В. О новом активном извержении одного из “грязевых” (газоводолитокластитовых) вулканов на Сахалине и природе грязевого вулканизма // Докл. РАН, 2005. Т. 400, № 4. С. 536–541.
 12. Оскорбин Л.С. Сейсмогенные зоны Сахалина и сопредельных областей // Проблемы сейсмической опасности Дальневосточного региона. Т. VI. Южно-Сахалинск, 1997. С. 154–178.
 13. Сайто Ф. Грязевые вулканы близ железной дороги Тоехара-Маока на Южном Сахалине (на яп. языке) // Тигаку Дзаси, 1928. Т.40, № 477. С.1–5.
 14. Собисевич А.Л., Лаверова Н.И., Собисевич Л.Е. и др. Сейсмоактивные флюидно-магматические системы Северного Кавказа. М.: Ин-т физики Земли РАН, 2005. 225 с.
 15. Соловьев С.Л., Оскорбин Л.С., Ферчев М.Д. Землетрясения на Сахалине. М.: Наука, 1967. 180 с.
 16. Ферчев М.Д. К вопросу о сейсмичности острова Сахалина // Бюл. совещ. по сейсмичности АН СССР. 1960. № 8.
 17. Чернышевская З.А. О грязевых вулканах в южной части Сахалина // Сообщения СахКНИИ СО АН СССР. Южно-Сахалинск, 1958. Вып. 6. С.118–130.
 18. Chigira M., Tanaka K. Structural features and the history of mud volcanoes in southern Hokkaido, northern Japan // Geol. Soc. Japan, 1997. V. 103, N 8. P. 781–791.
 19. Kurosawa K., Jnui Y., Marutani K. Fissures and Mud Boilings in the Niikappu Mud-Volcanos // Geological Survey of Hokkaido. Special report No. 25. Sapporo, Japan, 1996. P. 103–106.
 20. Takahashi M., Morikawa N. et al. Enbetsu-asahi hot spring (Utanoshibetsu mud volcano) // Chishitsu News, 2006. N 627. P. 48–53.

Рекомендована к печати Б.В. Левиным

O.A. Melnikov, V.V. Yershov, Kim Choon Ung, Sen Rak Se

The dynamics of gryphon activity of gas-water lithoclastic (“mud”) volcanoes, and its relation to natural seismicity with reference to Yuzhno-Sakhalinsk Volcano (Sakhalin Island)

The paper deals with detailed information about the character and dynamics of gryphon activity of the Yuzhno-Sakhalinsk gas-water lithoclastic (“mud”) volcano obtained from visual observations during long periods between short-time volcano eruptions in 1959, 1979 and 2001, and especially during continuous long-time (from June 18 to September 3, 2005) monitoring in the summer of 2005. Apart from direct observation, the monitoring involved temperature and air pressure measurements three times a day (at 9 a.m., 12 a.m. and 18 p.m.), analogous temperature measurement of liquid lithoclastic mass infilling crater hollows of different-type gryphons three times a day, analogous measurement of gas quantity emitted by two largest and most active gryphons, and daily (at 12 a.m.) sampling of liquid lithoclastic mass for chemical analysis by the ICP-AES method for five elements: Al, Fe, Ca, Mn, and Ba from the crater of the largest gryphon – Main or Central. The monitoring results were compared to the data on natural seismicity obtained by the “Dat” and “Datamark” system of digital seismic stations. As a result, the data obtained proved for the first time the earlier assumed direct cause-and-effect relation between the Yuzhno-Sakhalinsk gas-water-lithoclastic volcano activity – the dynamics of material composition of the liquid lithoclastic mass erupted by its Main gryphon, and regional-local natural seismicity. Incidentally, one of the measured elements (Al) plays a distinct prediction role.

Key words: gas-water lithoclastic volcano, gryphon, monitoring, natural seismicity, upthrow thrust, dynamics, material composition, chemical analysis, Sakhalin I.