

В период с 28 августа по 12 сентября 2005 года комплексная эколого-геофизическая экспедиция ученых Кубанского государственного университета, Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН и Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН провела комплексные полевые исследования на грязевых вулканах в районе Таманской грязевулканической провинции.

В экспедиции приняли участие

От Кубанского государственного университета (далее Куб ГУ):

Бучек Алексей Алексеевич – инженер геофизического полигона КубГУ;

Попов Сергей Петрович – м.н.с. НИИ проблем механики и геоэкологии;

Собенин Евгений Иванович – инженер геофизического полигона КубГУ;

Шаламов Виталий Витальевич – водитель автохозяйства КубГУ.

От Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (далее ИФЗ РАН):

Барков Владимир Семёнович – начальник экспедиционного отряда ИФЗ РАН, инженер лаборатории прикладной геофизики и вулканологии ИФЗ РАН;

Микадзе Эльвира Ильинична – ст. инженер лаборатории прикладной геофизики и вулканологии ИФЗ РАН;

Собисевич Леонид Евгеньевич – д.т.н., профессор, г.н.с. лаборатории прикладной геофизики и вулканологии ИФЗ РАН;

Собисевич Алексей Леонидович – заместитель научного руководителя комплексной эколого-геофизической экспедиции, д.ф.-м.н., зав. лаб. лаборатории прикладной геофизики и вулканологии ИФЗ РАН.

От Южного научного центра РАН (далее ЮНЦ РАН):

Лозовой Виктор Викторович, н.с. лаборатории природных процессов и сред ЮНЦ РАН,

Ратнер Светлана Валерьевна, к.ф.-м.н., с.н.с. лаборатории прикладной математики и механики ЮНЦ РАН.

**От Института вычислительной математики и математической геофизики
(далее ИВМиМГ СО РАН):**

Хайретдинов Марат Саматович- начальник экспедиционного отряда ВМиМГ СО РАН,
д.т.н., проф. зав.лабораторией ИВМиМГ СО РАН

Андреев Павел Раулевич - инженер отдела геоинформатики ВМиМГ СО РАН;

Брагинская Людмила Петровна – ведущий программист отдела геоинформатики ВМиМГ СО РАН;

Григорюк Андрей Павлович - научный сотрудник отдела геоинформатики ВМиМГ СО РАН ВМиМГ СО РАН;

Макаров Владислав Александрович - ведущий инженер-электроник отдела геоинформатики ВМиМГ СО РАН;

Работа выполнена в полном объёме в соответствии с планом, утверждённым ректором КубГУ в рамках договора «Разработка теоретических основ и создание системы мониторинга сейсмических трасс для прогноза сейсмической опасности» № 05.01/9-05.2005 от 01.07.2005 г и планами других участников комплексной эколого-геофизической экспедиции.

Аннотация

В последние годы одним из важнейших достижений в области наук о Земле стало изучение потоков вещества и энергии практически во всех внешних и внутренних геосферах путем прямых количественных оценок на основе детального анализа геолого-геофизических полевых и лабораторных исследований, которые во многих случаях дополняются теперь определением состава и структуры потоков вещества из внутренних геосфер – из областей подводного и надводного вулканизма, деятельности гидротермальных источников при помощи специализированных технических средств, создания сверхглубоких скважин, анализа материала, изверженного вулканами.

В настоящем отчете приведены наиболее характерные результаты исследований по проблеме «Оценка потоков энергии и вещества при эксплозивных извержениях наземных грязевых вулканов, включая:

- Важнейшие факторы воздействия вулканизма на природную среду.
- Изучения динамики активности грязевых вулканов, активно функционирующих в пределах Таманской грязевулканической провинции (в основном на примере грязевых вулканов Шуго, Ахтанизовский, горы Карabetова, Бугазский). Исследование акустических и сейсмических полей в районах вулканических построек.
- Режимы извержений вулканов и оценка летучих компонент вулканических выбросов на разных стадиях активности и роста вулканической постройки.

Анализ работ российских и зарубежных ученых, которые внесли существенный вклад в решение задач, связанных с оценкой глобального и локального влияния деятельности активных вулканов на природную среду, показывает, что современные познания в этой области и полученные данные пока далеки от всестороннего понимания всего комплекса сложных проблем вулканизма и его вклада в результирующую эманационную активность Земли.

Деятельность любого вулкана определенным образом влияет на окружающий его природный ландшафт. Применительно к грязевому вулканизму, причиной такого воздействия являются излияния грязевых потоков и флюидная деятельность.

Грязевой вулканизм – явление, уже многие годы вызывающее повышенный интерес ученых всего мира. Такое пристальное внимание можно объяснить целым рядом причин. Грязевой вулканизм – сложное, во многом до сих пор загадочное геологическое явление. Оживление грязевулканической и флюидной активности на суше в последние десятилетия, многочисленные открытия грязевых вулканов в море, большие масштабы и необычный характер этих явлений привлекли внимание научной общественности, поставили пе-

ред геофизиками и вулканологами задачу – установить природу грязевого вулканизма, его мнимые и реальные опасности.

Примером тому возобновление деятельности грязевых вулканов в сейсмоопасных регионах Северного Кавказа за несколько месяцев перед наступлением известных катастрофических природных явлений в этом регионе в конце XX столетия. Связь эта прослеживается на всех этапах развития грязевого вулканизма и является двусторонней: зарождение грязевых вулканов и их активность во многом контролируются региональной тектоникой, в то время как сама грязевулканическая деятельность, в свою очередь, вызывает локальные тектонические процессы, которые необходимо учитывать при планировании инженерно-хозяйственной деятельности. Это реально наблюдаемое «аномальное» природное явление указывает на то, что процессы в неоднородной слоистой геологической среде, какой являются верхние слои литосферы в регионах, где наблюдаются активные сейсмологические процессы, требуют глубокого изучения с учетом динамических особенностей литосферы и атмосферы Земли.

Грязевые вулканы выносят на поверхность обломки пород с больших глубин, позволяя исследовать строение верхней части земной коры без бурения дорогостоящих скважин. Кроме того, грязевулканическая деятельность, связанная с разгрузкой глубинных флюидов, нередко указывает на промышленные месторождения природного газа и нефти. Жидкие и газообразные продукты извержения позволяют изучать процессы, определяющие образование, аккумуляцию и миграцию углеводородов. К подводным грязевым вулканам часто приурочены скопления газовых гидратов, процессы образования, стабилизации и диссоциации которых, равно как и их молекулярная структура, до сих пор мало изучены.

К реальным опасностям относятся и катастрофические извержения самих грязевых вулканов. Не случайно о грязевых вулканах Тамани писал еще Гомер в своей Одиссее. Именно на Тамани, «в печальной оголенной местности» – в грязевых вулканах – поместил Гомер входы в подземное царство Плутона. «Здесь еще не пробежало ни одно человеческое судно, какое ни проходило, но морские волны и бушующее губительное пламя уносят доски судов и трупы мужей», так описывается пролив между Керченским и Таманским полуостровами, очевидно, проходивший по старому руслу р. Кубани и Таманскому заливу, по Ахтанизовскому лиману и Кубани, впадающей в Азовское море близ Темрюка. Путь «Арго» проходил через цепь взрывающихся грязевых вулканов, таких, как горы Горелая, Карабетова, Цимбалы, Бориса и Глеба, Ахтанизовская и др.

Таким образом, при изучении затронутой проблемы важная роль должна быть отведена всестороннему анализу эманационной активности, связанной с внутренним строением

выводящих каналов, сейсмичностью и другими явлениями, имеющими место в изучаемом регионе. Ясно, что катастрофические вулканические процессы и землетрясения являются источниками мощных потоков вещества и энергии из литосферы в океан и атмосферу. Но это только две стороны глобальных геодинамических процессов в активных зонах Земли; конкретные связи и взаимное влияние отмеченных явлений пока остаются слабо изученными. Здесь требуется концентрация усилий ученых в части построения единой геолого-геофизической технологии, позволяющей переходить в последующем к созданию математических моделей, отражающих наиболее существенные стороны комплексной проблемы «Влияние вулканической активности на потоки вещества и энергии из литосферы в океан и атмосферу», которая неразрывно связана с глобальными изменениями природной среды и климата нашей планеты.

В процессе исследований грязевых вулканов и оформлении заключительного отчета по полевым работам представилось целесообразным выполнить обзор работ по проблеме связанной с анализом процессов механохимического образования структур нефтяного ряда. Здесь, основываясь на работах известного российского ученого Войтова Г.И., обоснован механизм генерации метана, в объемах, не только регулирующих баланс этого газа в тропосфере Земли, но и объясняющего природу энергоносителя, перманентно обновляющегося на протяжении геологического времени.

Исследован изотопный облик углерода CH_4 и проанализированы масштабы нестабильностей изотопного облика углерода CO_2 в газах, отобранных из глубинных разломов, контролирующих грифон грязевого вулкана. Установлено, что изотопно углерод CH_4 грязевого вулкана Шуго близок или даже тождественен изотопному облику метана средней пробы последнего из газовых залежей зоны развития катагенных процессов. Отмечается близость химического и изотопного облика газов грязевого вулкана Шуго и попутных газов нефтяного месторождения Курчанское. Показано, что относительно малые нестабильности химического облика спонтанных газов вулкана Шуго, как и их изотопных параметров обусловлены общим фоном слабой геодинамической активности Западно-Кубанского передового и Керченско-Таманского поперечного прогибов.

В отчете достаточно внимания уделено и проблеме «Химические и изотопно-углеродные нестабильности газов грязевых вулканов (на примере Таманской грязевулканической провинции)» широко использованы как собственные наблюдения участников теоретических исследований и полевых наблюдений (авторов отчета), так и опубликованные результаты работ русских ученых, полученные при проведении экспедиционных исследований на территории Русской платформы, Северного Кавказа и других регионов России. Приводится описание явления грязевого вулканизма в Краснодарском крае, рас-

считается связь этого уникального явления с геотектоническими процессами и газовыми эманациями, а также затрагивается целый ряд аспектов грязевулканической деятельности, представляющих несомненный практический интерес и для административных органов.

Современная грязевулканическая активность Таманского полуострова проявляется, главным образом, в его центральной и юго-восточной частях.

Западно-Кубанский и Керченско-Таманский поперечные прогибы, располагающиеся на северо-западной периклинали Большого Кавказа, характеризуются масштабностью исторического и современного грязевого вулканизма, связанного с осадочно-седиментационными бассейнами, испытывающими длительные интенсивные прогибания, которые сопровождаются накоплением осадочных пород и генерацией углеродистых газов. По оценкам ученых [Плотников 1967] для выноса на дневную поверхность в пароксизмальном грязевом вулканизме 1 м^3 твердой брекчии требуется живая сила не менее 1750 м^3 газа, т.е. сопочная брекчия Западно-Кубанского передового и Керченско-Таманского поперечного прогибов, объем которой оценивается в $15\text{--}20 \text{ км}^3$, потребовала реализации живой силы не менее $3 \times 10^{13} \text{ м}^3$ природных газов.

Грязевулканическая брекчия Западно-Кубанского передового прогиба и других грязевулканических провинций состоит из угловатых обломков глин, сидеритов, песчаников, известняков, мергелей и гальки изверженных пород мелового и более древних возрастов [Ходькова, Гемп 1970], т.е. зоны активных процессов генерации природных (преимущественно – углеводородных) газов, участвующих в пароксизмальных процессах грязевого вулканизма находятся, по крайней мере, в отложениях мезозоя, а возможно – и палеозоя. Заметим, что у многочисленных исследователей грязевулканических процессов нет единого мнения ни о механизме образования грязевулканических структур, ни тем более о механизме генерации указанных выше объемов углеводородных газов, «живая» сила которых способна объяснить механизм их выноса с глубины не менее $10\text{--}15 \text{ км}$ на поверхность Земли. Этот процесс сопровождается генерацией акустических и сейсмических полей в широком диапазоне частот.

Так, А.Д. Архангельский и Н.С. Шатский полагали, что оба эти процесса сопряжены во времени и, по-видимому, обусловлены тектоническими движениями и образованием диапировых структур. Другие (И.М. Губкин, С.Ф. Федоров, А.А. Якубов) видели связь грязевулканических процессов с геологическими особенностями регионов, разрывными структурами, пластичными породами, пластовыми водами и нефтегазоносностью недр. Третьи (Г.А. Абих и Н.А. Кудрявцев) полагали безусловную генетическую связь грязевого вулканизма с высокотемпературными областями Земли и участием в них газов абиогенно-

го генезиса [Гемп и др., 1970]. Наконец, четвертые (С.А. Ковалевский, В.Н. Вебер, Г.П. Горшков и др.) считали несомненную обусловленность грязевулканических процессов современной сейсмичностью недр [Ковалевский, 1940; Горшков, 1961].

Диапиры и другие проводящие каналы, образующиеся по этой модели, фиксируют концентрированные потоки углеводородов только на минимальных глубинах, с которых последние вторгаются в осадочные отложения. Это утверждение подтверждается и геоакустическими измерениями, проведенными нами в последних экспедициях 2000-2004 гг.

В Южном Каспии по данным И.С. Гулиева и В.В. Иванова [1986] и в Черном море по данным Е.Ф. Шнюкова и др. [1971] подводные каналы грязевых вулканов фиксируются сейсмическими методами на глубинах 7–10 км. Увлекающие брекчию газы в процессе подъема к поверхности и определяют, скорее всего, процессы генерации, формирования и трансформации сейсмических и акустических полей в окрестности вулканической постройки.

Сравнительный анализ морфологических особенностей и строения грязевых вулканов показывает, что, несмотря на различие условий их формирования, они обладают целым рядом общих признаков. К числу таких общих черт относятся размеры и формы вулканических построек, а также их строение.

Размеры вулканических построек варьируют в незначительных пределах. В наземных условиях их размеры по площади колеблются от 0.5 км до 2 км в диаметре. Высота построек меняется от первых метров (например, вулкан Пекло Азовское) до 80 – 100 м (вулкан Шуго).

Различия в форме вулканов могут отражать разные стадии их развития и вариации состава продуктов извержения. На Таманском полуострове многие вулканы не имеют четко выраженных в рельефе возвышенностей из-за процессов эрозии. Крутые конусообразные постройки, как правило, свойственны молодым вулканам. В пределах Керченско-Таманской грязевулканической области у большинства вулканов наблюдаются кальдера обрушения, внутри которой находится кратерная площадка. Кальдера окружена валом. Кратерная площадка сложена грязевулканической брекчией потоков разной генерации. У активных вулканов (Шуго, Горы Гнилой, Мыска и др.) в пределах кратерной площадки отмечаются невысокие (от 0.5 м до 2 м) грязевулканические грифоны, располагающиеся главным образом по ее периферии, и трещины проседания. Характерной чертой строения большинства грязевых вулканов на Таманском полуострове является то, что компенсация происходит за счёт проседания в кратере вулканов.

В процессе проведения комплексной эколого-геофизической экспедиции основное внимание исследователей было сосредоточено на двух грязевых вулканах – вулкан Ахта-

низовский и вулкан Шуго. Здесь впервые в практике изучения грязевых вулканов были применены методы активной сейсмологии, которые позволяют изучить внутреннюю структуру флюидонасыщенных образований в теле вулканической постройки, включая грязевулканическую камеру и глубинные флюидогенерирующие области.

Раздел 1

Предварительная обработка результатов наблюдений грязевых вулканов

Анализ тонкой структуры геологической среды при возбуждении колебаний внешними поверхностными сейсмическими источниками колебаний связано с необходимостью привлечения специализированных технологий приема сейсмических сигналов. Эта задача весьма сложна в экспериментальном исполнении ввиду реального многообразия строения изучаемых объектов и в ряде случаев требует построения математической модели изучаемой среды.

Одно из основных преимуществ подхода, основанного на разработке и анализе математических моделей - возможность учета каждой особенности строения реальной геофизической среды, что позволяет выявить все эффекты, связанные именно с данной изучаемой особенностью строения вулканической структуры.

В свою очередь, математическое моделирование позволяет по-новому подойти к постановке сложных экспериментальных работ, связанных с изучением волновых процессов в геофизической среде вулканической постройки, дать правильное толкование наблюдаемым геофизическим процессам и новым явлениями.

Натурный же эксперимент регистрирует общую картину, где влияние всех элементов объединено, и зачастую сложно дать однозначное объяснение выявленного эффекта.

В силу вышеизложенного механико-математические модели геофизической среды достаточно многообразны, обладают различной степенью сложности и общности, что определяет круг решаемых задач.

Напомним, что простейшей является модель однородного полупространства, позволяющая ответить на некоторые вопросы взаимодействия поверхностных источников сейсмических колебаний с грунтом. Однако, несмотря на большое количество посвященных ее анализу публикаций, подобная модель имеет весьма ограниченный по частоте сверху диапазон применимости, что не позволяет учесть реальные резонансные свойства геофизической среды. Тем не менее, модель однородного полупространства - важная составная часть более сложных моделей.

Следующая по сложности модель многослойного полупространства – это модель, которая позволяет достаточно достоверно исследовать особенности возбуждения колебаний в геофизической среде вулканической постройки поверхностными источниками с учетом резонансных свойств отдельных образований и структуры выводящих каналов, а также

исследовать процесс формирования волновых полей в такой среде [Бабешко и др., 1989; Ворович и др., 1999]. В рамках такой модели могут быть исследованы особенности распространения поверхностных, пограничных и внутренних (продольных и поперечных) волн, их трансформация и взаимодействие. Разработанная модель, достаточно общая, она позволяет исследовать эффекты, связанные с движением нагрузок, и имеет большие, еще не исчерпанные практические возможности.

С практической точки зрения вопрос о резонансных свойствах геофизической среды наиболее важен. Эти свойства, обусловленные слоистостью, при возбуждении колебаний поверхностными источниками могут быть достаточно подробно изучены на основе модели слоистого полупространства. Открытыми при этом остаются вопросы корректного моделирования особенностей возбуждения колебаний заглубленными источниками, а также изучения влияния имеющихся в реальных структурах полостей различной формы, природы и положения на закономерности формирования волновых полей и резонансные характеристики среды.

Все отмеченные особенности учитывались при разработке технологии мониторинга грязевых вулканов.

При проведении полевых исследований планировались:

- работы, связанные с отработкой методики профильной и поперечной многоканальной регистрации сейсмических сигналов от сейсмического вибратора СВ-10/100 и определение потенциальной дальности регистрации;
- наладка канала синхронизации сейсмостанции СКИФ пусковым импульсом от генератора сигналов к вибратору СВ-10/100. Такая синхронизация предусматривает начало процесса регистрации сигналов от вибратора по команде от генератора сигналов;
- запись формы излучаемого вибратором сигнала вблизи источника с целью использования последнего в качестве опорного при вычислении вибрационных сейсмограмм в режиме зондирования широкополосными сигналами;
- спектральный анализ сейсмических сигналов и шумов;
- анализ нелинейных процессов распространения вибросейсмических колебаний через структуры грязевого вулкана. Последнее может представить интерес для задач активного мониторинга живущих вулканов. Это основывается на предполагаемой связи нелинейных эффектов распространения сейсмических волн в среде с процессами флюидообразования в действующих вулканах.

Исходя из этого компоновался состав аппаратурных комплексов и программ для проведения экспериментальных работ.

В состав экспериментального комплекса входили:

- сейсмический вибратор СВ10/100 с радиоканалом приема сигналов пуска от удаленного генератора сигналов (рис. 1, 2);

- 18-канальный сейсмический регистратор РОСА был разработан в ИВМиМГ для регистрации сигналов 100-тонного вибратора ЦВ-100 на расстоянии до 1000 км. Регистратор обладает низким уровнем собственных шумов, высокой стабильностью фазовых характеристик. Применение цифровых методов передачи данных позволило снизить влияние помех на “косу” регистратора длиной до 1 км. Для работы с 10-тонным сейсморазведочным вибратором регистратор был модернизирован, его частотный диапазон расширен до 0-70 Гц;

- сейсмические группы в количестве 12 экз., составлена из 5-ти последовательно включенных сейсмоприёмников типа СВ-5. Расстояние между соседними датчиками составляет 2.5-3 м. Общее количество датчиков составляет 60 (рис. 3);

- программный комплекс реального времени «АКСОН», управляющий процессами сбора, ввода, визуализации и записи сейсмических данных;

- пакет программ для предварительной обработки, реализующий функции спектрального анализа сигналов и шумов, вычисления вибрационных сейсмограмм.

Значительное место в эксперименте занимал аппаратный комплекс «СКИФ» (рис. 4 – б).

Комплекс включал в себя управляющий компьютер типа «Notebook», четыре периферийных модуля сбора и оцифровки сигналов и передачи отсчётов в виде последовательного 16-ти разрядного кода в центральный модуль сбора данных и далее в компьютер. Периферийные модули объединены между собой с помощью последовательного канала, выполненного в виде витой пары. К каждому модулю подключаются три сейсмические группы. Расстояние между соседними сейсмическими группами составляет 30 м. Приемник сигналов GPS располагается в центральном модуле (рис. 7). С помощью последних синхронизируется высокостабильный внутренний таймер станции. Дополнительно через центральный модуль осуществляется запуск программы ввода и записи сейсмических сигналов по команде от генератора сигналов, управляющего пуском вибратора.

Методика проведения работ сводилась к следующему.

Прежде всего, предусматривается прохождение продольных профилей на траверсах «вибратор – сейсмостанция – грязевой вулкан» и «вибратор – вулкан – сейсмостанция». Зондирование среды повторяется в трех удаленных повторяющихся точках. Последние располагаются вдоль указанных траверсов. Кроме перемещения вибратора предусматривается перемещение сейсмических групп вдоль выбранных траверсов, а также расстановка групп на поперечном профиле (регистрация с помощью «креста»). Зондирование среды

осуществляется свип-сигналами в диапазоне частот 10-64 Гц и длительностью 60 с. Количество зондирований меняется в пределах 5-10. Это позволяет поднять помехоустойчивость вибрационных сейсмограмм в условиях регистрации при повышенных сейсмических шумах. Достигается это путем синхронного суммирования сейсмограмм по множеству сеансов зондирования.

Цель такой методики работ сводится к:

- оцениванию скоростного строения основания вулкана на глубину до 3 – 4 км;
- изучению особенностей волновых полей, в том числе нелинейных, вносимых структурой вулкана;
- анализу характера сейсмических и акустических шумов, вносимых вулканом.

Результаты экспресс обработки полученных данных

Экспериментальные работы проводились в период с 31 июля по 6 сентября 2005 г. и охватывали два района: грязевого вулкана Ахтанизовский и грязевого вулкана Шуго. В районе первого были проложены два сейсмических профиля: первый располагался до подножия вулкана и зондирование осуществлялось в направлении профиля «вибратор-сейсмостанция-вулкан». Второй профиль был проложен в направлении «вибратор-вулкан-сейсмостанция». Работы на обоих профилях выполнялись в период 31.08- 01.09.05 (рис. 8). За этот период в общей сложности было выполнено 45 сеансов зондирований широкополосными свип-сигналами в полосе частот 10-64 Гц при длительности каждого из сеансов 60 с и монохроматическими сигналами частотой 10 Гц и длительностью 100 с. Удаления вибратора от сейсмостанции менялись в пределах 5-3500 м с шагом 500м (таблица 1). Детальные данные по географическим координатам расстановок пунктов зондирования, сейсмостанции, каждой сейсмической группы, а также по проведению режимов зондирования по времени на вулкане Ахтанизовский представлены в таблице 2. Полученные сейсмотрассы представлены на рис. 9 – 13.

В районе вулкана Шуго работы выполнялись в период 3.09.-6.09.05 (рис. 14). За этот период было выполнено 77 сеансов зондирования на четырех сейсмических профилях, проложенных через вулкан Шуго. Расстояния «вибратор – сейсмостанция» менялись в пределах 500 – 5500 м. Детальные данные по географическим координатам расстановок пунктов зондирования, регистрации, а также по режимам зондирования представлены в таблице 3 и на рис. 15- 16.

По отношению к каждому пункту зондирования и пункту регистрации была выполнена предварительная обработка сейсмических записей сигналов от вибратора СВ-10/100. В основе обработки лежит взаимно-корреляционная свертка зарегистрированных сейсмиче-

ских сигналов с опорным сигналом. В качестве такового был использован сигнал, записанный в непосредственной близости от вибратора (на расстоянии 5 м). По результатам обработки получены сейсмотрассы, каждая из которых соответствует определенному сейсмическому профилю. Полученные сейсмотрассы с указанием соответствующих параметров зондирования – номера пункта зондирования, дальности регистрации, типа вибратора, типа зондирующего сигнала (свип-сигнала либо монохрома) приведены ниже.

Из анализа полученных сейсмотрасс можно привести следующие выводы, относящиеся к скоростным характеристикам среды в районе грязевого вулкана Шуго.

1. Приводятся результаты, относящиеся к сейсмическим профилям в направлениях «вибратор – сеймостанция – вулкан» (профиль до вулкана), «вибратор – вулкан – сеймостанция (профиль проходит через вулкан). На первом на дальностях 1.7, 3.5 км головные волны регистрируются на временах вступлений 0.85 с и 1.8 с соответственно и характеризуются кажущимися скоростями 1800 м/с и 2680 м/с соответственно. На профилях проходящих через вулкан на дальностях регистрации 3.6, 4.1, 5.2 км зарегистрированы времена вступлений головных соответственно 1.26 с, 1.3 с, 1.7 с. Вычисленные кажущиеся скорости меняются в пределах 3270-3640 м/с. Наблюдается явное преобладание скоростей на втором профиле в сравнении с первым (рис. 17 – 24).

2. Наблюдается существенно более сложная структура волнового поля, регистрируемого за вулканом, в сравнении с картиной волнового поля, регистрируемого на сейсмограммах до вулкана. Очевидно, что это обусловлено геофизическими процессами и сложной геологической структурой вулканической среды. Здесь потребуются дополнительные исследования для изучения этой особенности волнового поля.

3. В формировании высокоамплитудных головных волн на сейсмограммах основная роль принадлежит низкочастотному диапазону свип-сигналов – в пределах 10-25 Гц.

Раздел 2

Грязевой вулканизм Таманской грязевулканической провинции (на примере грязевого вулкана Шуго)

Вулкан Шуго, один из крупнейших грязевых вулканов Таманской грязевулканической провинции. Он расположен на правом берегу одноименной реки, в 6 км к югу от станицы Варениковской.

Вулкан приурочен к вершине одноименной антиклинальной складки, сложенной меловыми и кайнозойскими отложениями (см. рис. 25), и кольцевого вала, возвышающегося над кратером на 20-30 м, заросшего растительностью и прорванного в нескольких местах потоками брекчии на востоке и юго-востоке. Кратер грязевого вулкана Шуго представляет собой кальдеру проседания, окруженную покрытым лесом правильным кольцевым валом высотой 20 – 30 м, прорезанным балкой с восточной стороны. В середине сопочного поля брекчия несколько вздута. По периферии этого поднятия на поле (диаметром до 100 м), покрытом свежей сопочной брекчией, расположены отдельными цепочками и группами сопки, сальзы и грифоны, выделяющие брекчию и газ. Кольцевой вал отделяется от кратера вулкана небольшим кольцевым понижением шириной 50-70 м. По периферии кратера располагаются как отдельные, так и объединенные в группы грифоны, извергающие разжиженную грязь и газ.

В ходе экспедиционных работ 1999 - 2005 гг. нами было обнаружено 16 действующих грифонов. Восемь грифонов имеют конусообразную постройку от 2 до 16 метров высотой. Остальные слабо выражены в рельефе и практически не действуют, лишь изредка проявляя флюидную активность. Южная часть вулканического кратера разбита системой трещин, из которых с частотой 7 - 10 минут с булькающими звуками выходит газ.

Практически все грифоны извергают небольшое количество нефти, которая образует нефтяные пленки на поверхности кратеров. «Древняя» грязевулканическая брекчия насыщена обломками пород. Они покрывают всю поверхность сопочного поля вулкана Шуго [Собисевич и др., 2005].

У вулканов Таманского полуострова, в отличие от вулканов Керченского полуострова, отсутствуют или слабо выражены компенсационные депрессии. Возможно, это связано с тем, что вынос материала из глубины компенсируется проседанием самого кратера. Косвенным свидетельством этому может служить наличие кольцевых валов вокруг кратера, возвышающихся над ним на 30 - 40 м. Образование этих валов может происходить не только в результате взрывных извержений вулканов, но и за счет обрушения кратера.

Гранулометрический состав брекчии современных и древних извержений в большинстве изученных вулканов существенно различается. В то время как в составе более древней брекчии присутствуют крупные обломки размером до 30 - 50 см, в продуктах современных извержений они отсутствуют. Скорее всего, это связано с различием в масштабах и силе извержений.

Грязевой вулканизм обнаруживает четкую структурную приуроченность к осям антиклинальных складок, а при большем приближении, к секущем их оси разломам. При этом разломы характеризуются наличием существенной сдвиговой компоненты. Вулканические конусы (или сопки), сложенные сопочной брекчией, нарушены системой концентрических и продольных разрывов. И те, и другие показывают относительно высокую степень современной активности.

Так на изученных в 2003 г вулканах Гладковском, горы Карabetова и Западный Цымбалы, отмечена выраженность этих нарушений в рельефе грязевулканических построек и прилегающих территорий.

Концентрические сбросы окружают вулканические по периметру и выражены в виде уступов высотой 1-1,5 м (гр. влк. Гладковский). Продольные разрывы, на которые как бы «насажены» грязевые вулканы, в рельефе выражаются в виде спрямленных русел, смещающих впадающие в них водотоки на 5 м в правую сторону (Гладковский). Подобные структуры характерны и для вулкана Шуго. Здесь, вдоль продольного нарушения, на которое насажена грязе-вулканическая постройка, наблюдается правый сдвиг кольцевого вала, амплитудой около 40 м. [Собисевич и др., 2005].

Все эти факты говорят об их высокой активности в недалеком прошлом и в настоящее время. При этом, если активность концентрических сбросов, очевидно обусловлена напором вулканической грязи и газов, то движения по продольным нарушениям, очевидно, провоцируют грязевулканическую деятельность. Об этом свидетельствует их первичность по отношению к грязевым вулканам, т.к. кинематика подвижек обусловивших образование эшелонированных систем разрывов дневной поверхности при взрывах вулканов горы Карabetова и Западный Цымбалы, соответствует общему полю тектонических напряжений в этом регионе. При извержении горы Карabetова в 2001 г. и Западный Цымбалы в 2002 г. продольные нарушения, контролирующие положение этих вулканов, породили кулисообразную систему рвов с существенной амплитудой левосдвиговой подвижки. Ориентированы эти нарушения СВ-ЮЗ. В существующем поле напряжений нарушения СВ простирания деформируют вмещающую среду как левые сдвиги, а СЗ простирания как

правые. Это характерно и для грязевого вулкана Гладковский, где контролирующий его разлом СЗ простирания смещает русла ручьев как правый сдвиг.

Особняком стоит грязевой вулкан Шуго, который приурочен к зоне разлома СВ простирания с правосдвиговой компонентой смещений. Разлом отчетливо выражен в рельефе в виде спрямленных балочных долин с активным эрозионным врезом (рис 26). На космоснимке это нарушение прослеживается за пределы грязевулканической постройки (показано черными стрелками, рис). В отличие от большинства грязевых вулканов этого региона он приурочен не к оси антиклинальной складки, а к синклиналильному понижению в коренных мелплиоценовых отложениях. Характерно, что верхнеплиоценовые осадки в подножии грязевулканического конуса залегают близгоризонтально, т.е. не деформированы складкообразовательными процессами.

Наблюдения 2005 г.

При посещении вулкана Шуго мы обнаружили, что его активность постепенно нарастает. Возобновили свою деятельность ранее наработавшие грифоны. Конус Войтова увеличился в размерах, по меньшей мере, на 20 % с 2004 года, за счёт выброса свежей грязебрекчии (рис. 27).

Отмечено активное выделение газа (метана) из центрального кратера и вторичных конусов. По нашим оценкам (замерам) дебит газа оставляет не менее 150 м³ в сутки.

Значительный интерес вызывает центральная часть вулкана, которая с момента посещения в 2004 году выросла по высоте не менее чем на 20 – 30 см на площади около 100 кв.м (рис. 28 а, б).

В центральной же части образовались три новых грифона, выбрасывающие вязкую грязебрекчию (рис. 29).

Согласно нашим оценкам объём изверженного материала за год составляет не менее 20 тысяч тонн.

Нами проведено определение толщины слоя затвердевшей брекчии. Результаты: толщина слоя составляет 15 – 20 см (рис. 30 а, б). Под слоем засохшей брекчии расположена жидкая грязь. Таким образом, исследование поверхности сопочного поля подвершило предположение о том, что затвердевшая поверхность представляет собой своеобразную мембрану, которая при выбросах порций газа ведёт себя как мембрана на вязкоупругом (флюидонасыщенном) основании. С целью подтверждения этого допущения в районе главного кратера (рис. 31) был установлен сейсмогидроакустический приёмник СГАП-2 и система сбора данных. Сеанс записи шумов в инфразвуковом диапазоне частот, как по акустическому, так и по сейсмическим каналам был выполнен в ночное время, когда от-

сутствуют ветровые (псевдозвуковые) помехи. На полученных записях ярко выражены характерные низкочастотные колебания, генерируемые поверхностью вулкана.

Обнаружено интересное геофизическое явление: центральный (главный) кратер вулкана в период нашего посещения проявлял признаки активности, периодически, с частотой 1 раз за 90 с (рис. 32) выбрасывал порции вязкой брекчии, что сопровождалось выделением газа (метана). Предварительный анализ полученных результатов даёт основания полагать, что в окрестности вулканической постройки механизм генерации низкочастотных колебаний может быть объяснён с привлечением математических моделей, развиваемых научной школой академика В.А.Бабешко. При этом одной из моделей может быть принята модель о колебаниях гибкой круглой (трещиноватой) плиты на флюидонасыщенном полупространстве. В качестве возбуждающей силы в данном случае выступает периодическое истечение газа и грязебрекчии из вулканической камеры. Второй интересный результат связан непосредственно с вибрационным воздействием на грязевые структуры [Бабешко и др., 1999].

Вибровоздействие привело к перераспределению флюидных потоков по выводящим каналам, питающих как центральный кратер, так и боковые грифоны, расположенные на периферии сопочного поля. 05 августа 2005 года после многократных вибровоздействий (серия свип-сигналов) центральный кратер заметно снизил свою активность. Выбросы грязебрекчии и метана практически прекратились (рис. 33). Одновременно активизировались два грифона на сопке Г.И.Войтова. Сейсмоакустические измерения, проведенные вблизи главного кратера, не обнаружили НЧ колебаний. Это говорит о том, что усиление деятельности по краям вулкана не вызывают инфразвуковых колебаний. Данный вывод можно объяснить тем, что вулканическое поле как штамп рассматривать некорректно, скорее всего, мы имеем дело с тонкой мембраной, каковой является поверхностный слой застывшей вулканической грязебрекчии. Этот слой образовался в результате деятельности вулкана в 2005 году и имеет толщину порядка 10 – 15 см по краям и до 30 – 35 см в центре. Данные были получены путём непосредственных измерений на вулкане, а колебания центральной части наблюдались при перемещении участников экспедиции по её поверхности (рис. 34).

После окончания сеансов вибровоздействия режим извержения вулкана начал снова стабилизироваться, однако его интенсивность несколько уменьшилась.

О химических и изотопно-углеродных нестабильностях газов грязевого вулкана Шуго (по данным работы [Собисевич и др. 2005])

Ранее [Назаров, 1957; Валяев и др., 1985; Войтов и др., 1988, 1991], на примере грязевых вулканов Кипящий Бугор и Дашгиль (Юго-Западная Туркмения и Шемахино-Кобыстанская грязевулканическая провинция Азербайджана) были рассмотрены масштабы и особенности изменений изотопного состава углерода CO_2 и метана. Они оказались связанными с общим усилением геодинамической активности недр Средней Азии и Кавказского региона [Чекалюк, 1971]. Позже эти работы были продолжены в Таманской грязевулканической провинции

Геодинамическая активность недр Туркмении, Азербайджана и Кавказского региона, по-видимому, является производной сейсмической активности. С этим явлением мы столкнулись на вулкане Шуго при изучении изотопных параметров углерода метана в сопочных газах, достигающих -6% , (в CO_2 – даже $+10\%$ промилле значений $\delta^{13}\text{C}$).

Корни грязевого вулкана Кипящий бугор по фрагментам грязевулканической брекчии приуроченного к Гоарндаг-Окаремской зоне глубинных разломов, как и грязевых вулканов Западно-Кубанского и Керченско-Таманского передовых прогибов, вскрывают породы мелового и более древнего возраста [Галимов, 1973].

Грифонная деятельность грязевого вулкана Дашгиль в период отбора образцов [Назаров, 1957] сопровождалась относительно слабой химической и изотопно-углеродной нестабильностями грифонных газов. Однако, частые пароксизмы этого грязевого вулкана (извержения 1902, 1908, 1926, 1956 гг.) свидетельствуют о его чрезвычайно высокой мобильности и, по-видимому, связаны с мощной газовой залежью и активной высокотемпературной газогенерирующей структурой на глубине.

По внешнему виду шлаковых конусов грифонов грязевого вулкана Шуго, из которых нами отобраны образцы газа (таблица 4), можно составить представление о режиме извержений. Отметим, что извержения пароксизмального типа, какое наблюдалось 06 мая 2001 г. на грязевом вулкане горы Карабетова, за время наших инструментальных наблюдений на Шуго не отмечалось.

Отобранные газы подверглись химическому (хроматографическому) и изотопному анализу. Химически и изотопно они оставались в тот период квазистабильными.

Следует отметить, что первые определения изотопного состава углерода CH_4 из конусов грязевого вулкана Шуго приводятся в работе С.Д. Гемпа и сотрудников [1970]. Затем они уточнялись Б.М. Валяевым и др. [1985], которые отмечают, что им удалось наблюдать

широкие интервалы значений изотопных параметров в конусах, извергавших углеродистые газы, занимающие на шкале сводной гистограммы рядов распределений интервал изотопных значений $\delta^{13}\text{C}$, располагающийся в пределах от $-33,0 \delta^{13}\text{C}$ до $-62,8 \delta^{13}\text{C}$ РДВ у CH_4 и от $+16,0 \delta^{13}\text{C}$ до $-20,0 \delta^{13}\text{C}$ РДВ у CO_2 . (рис. 35).

Таблица 4. Химический и изотопный состав газов грифонов грязевого вулкана Шуго

№ п/п	Время отбора, дата, часы	Химический состав, % по объему						Изотопный состав, $\delta^{13}\text{C}$, ‰ РДВ	
		He	N ₂	CH ₄	Σ Т.У.	CO ₂	H ₂	CH ₄	CO ₂
<i>По данным Войтов Г.И., 1995 г.</i>									
1.	12 ³⁰	0.0032	3.88	91.53	0.035	2.11	He опр.	-38.0	He опр.
2.	12 ⁴⁵	0.0034	1.34	94.47	0.164	3.49	He опр.	-37.7	He опр.
3.	13 ⁰⁰	<10	0.45	95.30	0.120	4.13	He опр.	-38.3	He опр.
4.	13 ¹⁵	<10	0.00	99.70	0.100	0.20	He опр.	-38.3	He опр.
5.	13 ²⁰	<10	1.95	94.18	0.100	3.77	He опр.	-37.8	-2.7
6.	13 ²⁵	<10	0.18	95.60	0.100	4.12	He опр.	-38.5	He опр.
7.	13 ⁴⁵	<10	2.80	92.33	0.200	3.47	He опр.	-38.2	He опр.
8.	13 ⁵⁵	<10	13.28	79.02	0.100	7.70	He опр.	-37.9	-3.8
9.	14 ⁰⁵	0.0021	1.36	92.47	0.010	6.16	He опр.	-38.4	-4.7
10.	14 ¹⁵	0.0021	10.61	85.49	0.010	3.90	He опр.	-37.1	-4.6
11.	14 ²⁵	0.0021	1.72	91.24	0.010	8.04	He опр.	-39.0	-1.8
<i>По данным Войтов Г.И., 09.12.2002 г.</i>									
1.	04.09.02г.	0.002	75.45	4.68	660.46	2.58	0.001		
2.	04.09.02г.	0.001	71.85	24.30	1666.69	1.15	0		
3.	04.09.02г.	0.001	66.19	17.09	1755.41	3.21	0		
4.	04.09.02г.	0	78.53	0.29	101.36	1.61	0		
5.	04.09.02г.	0	69.32	13.76	976.01	0.69	0		
6.	05.09.02г.	0.003	13.41	82.81	2339.7	2.50	0.0008		
7.	05.09.02г.	0.002	4.68	89.09	2713.2	4.72	0		
8.	05.09.02г.	0.001	18.98	76.28	2290	3.52	0		
9.	05.09.02г.	0.001	18.85	76.93	455.81	2.83	0		
10.	05.09.02г.	0.002	10.31	86.02	2239.3	2.55	0		
11.	05.09.02г.	0.002	6.32	88.11	2760.05	4.75	0		
12.	05.09.02г.	0	16.48	76.89	1870.7	4.60	0		
13.	05.09.02г.	0.001	42.31	45.15	2230.5	4.62	0		

Углеводородные газы грязевого вулкана Шуго на шкале изотопного параметра локализируются в интервале значений изотопного состава углерода CH_4 от $-38,0 \delta^{13}\text{C}$ до $-42,0 \delta^{13}\text{C}$, для CO_2 – от $+2,0 \delta^{13}\text{C}$ до $+14,0 \delta^{13}\text{C}$, что позволяет классифицировать углеродистые газы Западно-Кубанского передового и Керченско-Таманского поперечного прогибов по изотопному облику их углерода как «ультратяжелые» и «метаморфогенные», хотя химически газы тождественны изотопному облику углерода метана их газовых месторождений, где наблюдается развитие катагенных процессов [Войтов и др., 1994].

Более тщательные исследования показывают, что изотопно углерод метана, отобранный летом 2002 года из одного и того же газового грифона, не остается стабильным. Подобное явление характерно для всей совокупности водно-газовых и изотопных систем за время, предшествующее сейсмическому удару 09 ноября 2002 г. (эпицентральное расстояние до землетрясения с магнитудой 5,8 около 50 км).

Анализ результатов режимных наблюдений указывает на существенные временные химические и изотопные нестабильности, проявляющиеся по всем газовым компонентам, особенно заметные по временным вариациям атмосферобразующих газов – CH_4 , N_2 , CO_2 и их малым компонентам, в основном гомологам метана и гелия. Кроме того, соотношения в сопочных газах грязевого вулкана Шуго метана и всей гаммы его гомологов, в составе которых представлены углеводороды вплоть до C_5H_{12} включительно, близки к их соотношениям в газах термальных источников и скважин в зонах тектонических разломов полосы альпийской складчатости и регионов, активированных в неоген-четвертичное время. Следует отметить, что наблюдается также облегчение углерода CO_2 , который по величине изотопного параметра приближается к облику углерода спонтанной углекислоты мантийного генезиса [Craig, 1994]. Эти же особенности отмечаются и в изотопном облике углерода CH_4 , вариации которого (от $-36 \delta^{13}\text{C}$ до $-38 \delta^{13}\text{C}$) локализуются в узких пределах (рис. 36), которые не совпадают с пределами изотопных вариаций углерода CH_4 спонтанных газов отборов 1977 и 1980 гг. В то же время, изотопно углерод CH_4 грязевого вулкана Шуго близок или даже тождественен изотопному облику метана средней пробы последнего из газовых залежей зоны развития катагенных процессов [Войтов и др., 1994]. Следует отметить также близость химического и изотопного облика газов грязевого вулкана Шуго и попутных газов нефтяного месторождения Курчанское.

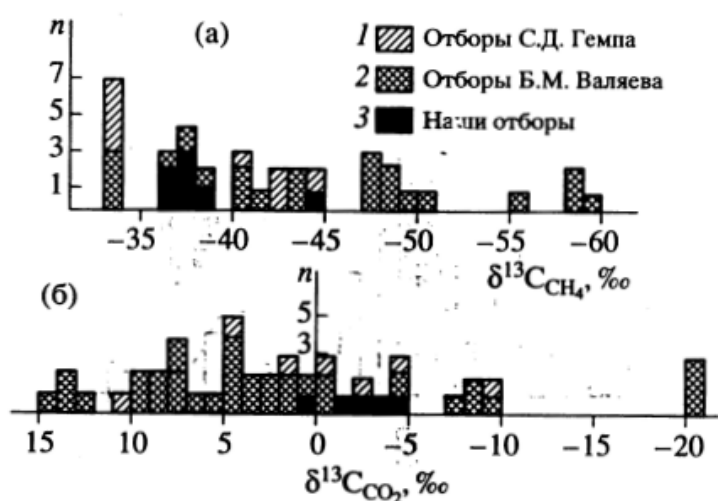


Рис. 35. Гистограмма рядов распределения изотопного состава углерода CO_2 и CH_4 газов всех грязевых вулканов Таманской грязевулканической провинции и газов грязевого вулкана Шуго: 1 – отборы С.Д. Гемпа и, 2 – отборы Б.М. Валяева, 3 – наши режимные отборы на вулкане Бугазский.

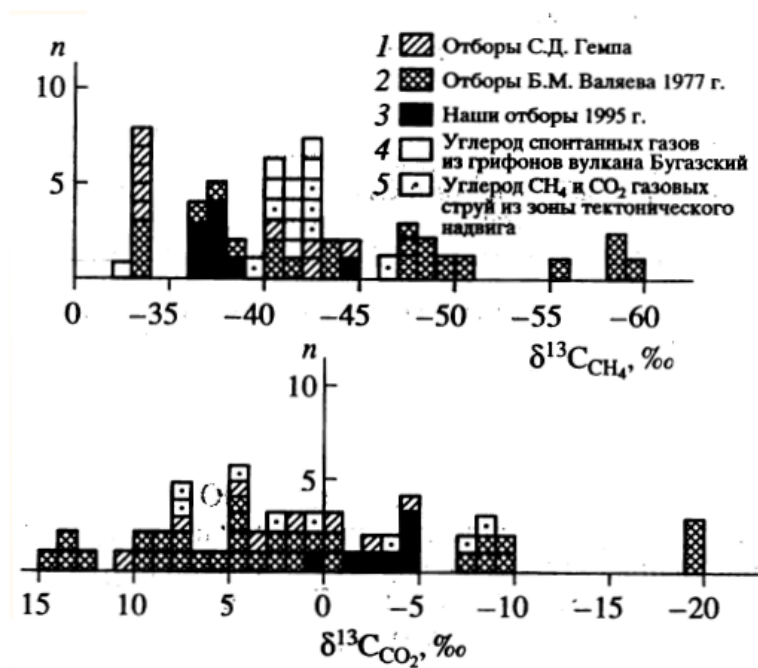


Рис. 36. Гистограмма рядов распределения изотопного состава углерода CO_2 и CH_4 газов всех грязевых вулканов Таманской грязевулканической провинции и грязевого вулкана Бугазский, а также спонтанных газов из зоны влияния тектонического сдвига: 1 – отборы С.Д. Гемпа, 2 – отборы Б.М. Валяева, 3 – наши режимные отборы на вулкане Шуго, 4 – наши режимные отборы на вулкане Бугазский, 5 – наши режимные отборы спонтанных газов из зоны влияния тектонического сдвига.

Грифонные газы грязевого вулкана Шуго с изотопным обликом углерода CH_4 , близким по величине изотопно-углеродному облику CH_4 средней пробы метана газовых месторождений из зон развития катагенных преобразований органического вещества осадочных пород, содержат CO_2 , углерод которого изотопно близок углероду, имеющему мантийную метку [Craig, 1994].

Углеводороды спонтанных газов грязевого вулкана Шуго сухие, на 99,9 % представлены метаном и всеми его гомологами, включая бутилены (C_4H_8), а также изомерные формы бутанов и пентанов. Газы вулкана Шуго химически нестабильны во времени, как нестабилен во времени изотопный облик углерода CO_2 и CH_4 (рис. 36). В то же время, интервал вариаций величины изотопных параметров существенно уже интервала вариаций этой величины в газах большинства газовых струй сейсмически активных регионов Средней Азии и Кавказа [Войтов и др., 1994].

На сегодняшний день есть все основания полагать, что относительно малые нестабильности химического облика спонтанных газов вулкана Шуго, как и их изотопных параметров, обусловлены общим фоном слабой геодинамической активности Западно-Кубанского передового и Керченско-Таманского поперечного прогибов. Соответственно, темпы разгрузки природных газов из областей высоких температур в верхние структурированные этажи литосферы и приземную тропосферу здесь понижены.

**Таблица 5. Количество сейсмических событий на Северном Кавказе
1976 – 2002 с магнитудами более 4**

Годы	Кавказ Ш.35°-50°, Д.40°-48°	Северо-западный Кавказ Ш.35°-45°, Д.42°-48°	Северо-западный Кавказ Ш.36°-42°, Д.43°-46°
1976	38		
1977	21	1	
1978	31	1	
1979	46	5	
1980	43	2	
1981	30	2	
1982	17	2	5
1983	18	5	3
1984	45		2
1985	16		
1986	7		
1987	8	4	
1988	67	28	22
1989	29	5	5
1990	17	3	
1991	340	318	
1992	68	20	
1993	48	27	1
1994	52	24	
1995	15	1	
1996	19	3	2
1997	27	1	
1998	5	1	
1999	30	3	1
2000	9	2	
2001	5		
2002	4		

При этом как Большой, так Малый Кавказ в 1995 г. отличались слабой геодинамической активностью недр. До отбора образцов на грязевых вулканах в начале сентября 1995 г. в Кавказском регионе зарегистрировано только 4 землетрясения с магнитудой 4,5–4,8. В том числе – 1 в пределах Западного Кавказа [Войтов и др., 1994], в то время как в конце восьмидесятых годов XX века – начале XXI века и Большой и Малый Кавказ отличались повышенной сейсмической активностью недр (таблица 5) [Сейсмический Бюлл. 1995-2003]. В этой связи представляется возможным сделать предварительное заключение о том, что геодинамическая обстановка в регионе отразилась на химических и изотопно-углеродных нестабильностях газов грязевых вулканов Западно-Кубанского продольного и Керченско-Таманского поперечного прогибов в моменты забора проб.

В экспедиции 2005 года непосредственно на вулканической постройке Шуго были проведены регулярные геолого-геофизические наблюдения. В районе главного кратера была установлена сейсмоакустическая информационно-измерительная система СГАП-2. (рис. 37 а,б). Производились заборы проб грязебрекчий и велись наблюдения за активностью отдельных грифонов как непосредственно в процессе вибропросвечивания тела вул-

канической постройки Шуго, так и в спокойные периоды. Такая организация работ позволила получить ряд оригинальных научных результатов.

- выполненные сейсмические наблюдения при помощи системы СГАП-2 в районе главного кратера грязевого вулкана Шуго зафиксировали явление генерации низкочастотных колебаний, создаваемых высохшим слоем грязебрекчии на поверхности кратера. Установлено, что поверхность вулкана является своего рода «мембраной» (штампом) на вязкоупругом (флюидонасыщенном) основании. Толщина затвердевшей грязебрекчии составляет 15 –20 см по краям кратера и до 30 см в центре кратера. Эффективный диаметр такой условной «мембраны» определен экспериментально и составляет по нашим оценкам порядка 50 м. В то время как общее поле излившейся грязебрекчии из главного грифона достигает в диаметре 250м, при этом основной кратер смещён от центра вулкана в юго-восточном направлении на 14 м. Это позволяет сделать предварительные оценки массы выброшенного материала за последний год, которая составляет более 20000 тонн.

В процессе проведения активного мониторинга тела вулканической постройки и окружающей геологической среды обнаружен эффект реакции грязевыводящих каналов и других флюидонасыщенных структур на вибрационное воздействие. Грязепроявления в центре вулкана и на периферии при длительном активном сейсмическом воздействии обнаруживают пространственную анизотропию. Происходит перераспределение грязепроявлений на всех грифонах вулкана Шуго. Данное явление представляется крайне интересным и требует постановки специальных дополнительных экспериментов на грязевых вулканах. Это тем более важно, поскольку подобного рода явления, по-видимому, являются индикаторами подготовки сейсмических событий регионального масштаба. Есть все основания полагать, что их основой являются резонансные образования в структуре питающих систем грязевых вулканов.

В процессе расшифровки геофизической информации (рис. 38 а, б), полученной при просвечивании вулканической постройки Шуго, мы обратили внимание на наличие характерных особенностей в волновой картине на хвостах сейсмотрасс при различных условиях расположения источника и приемной многоэлементной антенны относительно центра вулкана. Так при размещении вибратора и приемной антенны по разные стороны от вулкана удастся наблюдать появление цугов волн, которые можно связать с резонансными особенностями вулканических структур (выводящие каналы, грязевулканическая камера). Однако это предположение требует дополнительного теоретического анализа и постановки специальных полевых экспериментов.

В процессе работы экспедиции были проведены отборы проб грязебрекчии и выполнены оценки выбросов метана и сопутствующих газов на вулкане Шуго. По нашим оценкам объём выхода газов составляет на этом вулкане не менее 50000 м³/год.

Элемент	Процентное содержание	Элемент	Процентное содержание
Si	25-30%	Rb	микропримеси на уровне содержания микроэлемента в Земной коре 10 ⁻¹ -10 ⁻² %
Al	до 10%	Sr	
Fe	до 10%	Zr	
Ca	2-5%	Sc	
K	1-1,5%	Cr	
Mn	1-1,5%		
Cu	1-1,5%		
Ni	1%		

Основные элементы – кремний, алюминий, железо содержатся, предположительно, в виде оксидов.

Работа виброисточника на полигоне Горячий Ключ

12:00 монохром 6.75 Гц длительность 20 мин. 12:30 свип 6.25 -> 9.47 Гц, длительность 11 мин 32 сек. Координаты полигона в Горячем Ключе N 44 35`50" E 39 18`27".

Заключение

Согласно карте сейсмического районирования территории России и сопредельных государств Краснодарский край находится в зоне повышенного сейсмического риска. На территории Краснодарского края возможны сейсмические события с магнитудой 7 – 8, что может привести к серьёзным катастрофическим последствиям для экономики региона. В этой связи постоянное изучение сейсмического режима в регионе является первостепенной эколого-геофизической проблемой для учёных и руководства Краснодарского края.

При всем обилии научного материала по сейсмичности и грязевому вулканизму на территории Краснодарского края, многие вопросы до сих пор остаются открытыми и требуют дальнейших исследований. К числу этих вопросов относятся и проблема грязевого вулканизма, который в ряде случаев может представлять опасность для жизнедеятельности человека, а также оказывать влияние на изменения окружающей среды.

Цель работ

Целью работ комплексной эколого-геофизической экспедиции Кубанского государственного университета Минобразования и науки РФ, Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН и Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН являлось:

- дальнейшее изучение явления грязевого вулканизма в целом традиционными методами и с привлечением новых геотехнологий [Собисевич и др., 2005], поиск новых грязевулканических областей и постоянный мониторинг уже известных грязевых вулканов (грязевой вулкан Ахтанизовский и грязевой вулкан Шуго);

- использование методов и средств активной сейсмологии для изучения внутренней структуры грязевых вулканов [Алексеев и др., Бабешко и др. 1989, Бабешко и др. 1999];

- совместная интерпретация полученных экспериментальных данных, сопоставление с результатами теоретических исследований и постановка новых задач по изучению этого уникального природного явления.

В ходе проведения экспедиционных работ были применены прогрессивные технологии активной сейсмологии и получены новые научные результаты.

Методы и аппаратные средства

Впервые при изучении наземных грязевых вулканов предпринята попытка осуществления активного вибросейсмического зондирования и оценки скоростных характеристик реальной геофизической среды в районе вулканической постройки. Для этого была использована следующая аппаратура:

- сейсмический виброисточник СВ-10/180 Кубанского государственного университета;
- 18-ти канальная сейсмостанция «СКИФ» разработанная учеными ИВМиМГ СО РАН. Станция включает 12 сейсмических групп на базе сейсмоприемников типа СВ-5, общее количество датчиков – 60; программный комплекс реального времени «АКСОН», управляющий процессами сбора, ввода, визуализации и записи сейсмических данных;
- пакет программ для предварительной обработки, реализующий функции спектрального анализа сигналов и шумов, вычисления вибрационных сейсмограмм;
- автономная сейсмоакустическая информационно-измерительная система СГАП-2, позволяющая регистрировать сейсмические шумы в крайне низкочастотном диапазоне от 0.005 до 30 Гц;
- специализированные алгоритмы и программы Кубанского государственного университета Минобразования и науки РФ, Института физики Земли РАН и Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН.

Результаты

В процессе проведения экспедиционных работ были получены следующие экспериментальные результаты, отражающие фундаментальную значимость выполненных исследований:

Впервые проведено активное вибросейсмическое зондирование двух наземных грязевых вулканов (Ахтанизовский и Шуго). Общее число сеансов зондирования составило 122. Из них на долю зондирований широкополосными свип-сигналами в полосе частот 10-

64 Гц и длительностью 60 с пришлось 112 сеансов. Кроме того, 10 сеансов зондирований проведено с использованием монохроматических сигналов на частоте 10 Гц.

В процессе проведения полевых работ длительность зондирования составляла 60 с. Зондирования осуществлялись на двух сейсмических профилях в направлениях «источник-сейсмостанция-вулкан» и четырех сейсмических профилях в направлениях «источник-вулкан-сейсмостанция» с целью изучения особенностей сейсмического волнового поля, вносимых подошвой вулкана.

На всех отработанных профилях получены качественные вибрационные сейсмограммы с высоким отношением сигнал/шум. В целом на зарегистрированных сейсмограммах преобладают волны первых вступлений, в непосредственной близости за которыми следуют высокоамплитудные преломленные поперечные волны.

Предварительная обработка результатов показала:

- выполненные сейсмические наблюдения при помощи системы СГАП-2 на грязевом вулкане Шуго зафиксировали явление генерации низкочастотных колебаний, создаваемых поверхностью вулкана в районе главного кратера. Установлено, что поверхность вулкана является своего рода «мембраной» (гибкой круглой пластиной) на вязкоупругом (флюидонасыщенном) основании. Толщина затвердевшей грязебрекчии составляет 15 –20 см по краям кратера и до 30 см в центре кратера. Эффективный диаметр «мембраны» определен экспериментально и составляет порядка 50 м, в то время как общее поле излившейся грязебрекчии из главного грифона достигает в диаметре 250 м, при этом основной кратер смещён от центра вулкана в юго-восточном направлении на 14 м. Это позволяет сделать предварительные оценки массы выброшенного материала за последний год, которая составляет более 20000 тонн;
- обнаружен эффект реакции грязевыводящих каналов (структур) на вибрационное воздействие. Грязепроявления в центре вулкана и на периферии при длительном активном сейсмическом воздействии виброисточником обнаруживают пространственную анизотропию. Данное явление представляется крайне интересным и требует постановки специальных дополнительных экспериментов на

грязевых вулканах. Это тем более важно, поскольку подобного рода явления, по-видимому, являются индикаторами подготовки сейсмических событий регионального масштаба. Есть все основания полагать, что их основой являются резонансные образования в структуре питающих систем грязевых вулканов;

- обращает на себя внимание наличие характерных особенностей волновой картины на коррелограммах при различных условиях расположения источника и приемной многоэлементной антенны относительно центра вулкана. Так при размещении вибратора и приемной антенны по разные стороны от вулкана удастся наблюдать появление цугов волн, которые можно связать с резонансными особенностями вулканических структур (выводящие каналы, грязевулканическая камера). Однако это предположение требует дополнительного теоретического анализа и постановки специальных полевых экспериментов.

В процессе работы экспедиции были проведены отборы проб грязебрекчии и выполнены оценки выбросов метана и сопутствующих газов на вулкане Шуго. По нашим оценкам объём выхода газов составляет на этом вулкане не менее 50000 м³/год.

Таким образом, в результате выполненных полевых работ, апробированы методы активной сейсмологии, связанные с мониторингом внутренней структуры грязевых вулканов и впервые получены данные, позволяющие более глубоко изучить геолого-геофизические процессы на различных стадиях развития грязевулканической деятельности. Обнаружено ранее неизвестное явление перераспределения флюидных потоков при активном вибросейсмическом воздействии и зафиксирован механизм генерации низкочастотных колебаний поверхностными структурами грязевого вулкана. Полученные данные о потоках метана и сопутствующих газов на вулкане Шуго могут быть использованы для оценки экологической обстановки в регионе.

В процессе выполнения геохимических полевых наблюдений получены новые научные результаты, отражающие основные химические и изотопно-углеродные нестабильности газов грязевого вулкана Шуго и ряда других вулканов, расположенных в Таманской грязевулканической провинции. Отмечая фундаментальную значимость данных, полученных в экспедиции, укажем, что они являются основой для построения корректной механико-математической модели грязевого вулкана. Кроме того, объёмы метана, поступающего из отдельного грязевого вулкана, дают возможность оценить масштабы обмена

восстановленных газов между различными геосферами Земли в региональном масштабе.

Дальнейшие экспериментальные исследования грязевого вулканизма Таманской грязевулканической провинции необходимо продолжить, уделяя при этом особое внимание результатам, основанным на новейших геолого-геофизических данных и позволяющим дать общее представление о грязевом вулканизме в Черноморском регионе, а также рассмотреть связь этого уникального природного явления с геотектоническими процессами и развивающимися сейсмическими процессами.

Научный руководитель экспедиции
Ректор Кубанского
государственного университета
академик РАН

_____ В.А. Бабешко

Зав. лаб. прикладной геофизики
и вулканологии ИФЗ им. О.Ю. Шмидта
РАН,
д.ф.-м.н.

_____ А.Л. Собисевич

Зав. лаб. методов цифровой обработки
геофизических данных ИВМ и ИГ СО
РАН
д.т.н.

_____ М.С. Хайретдинов

Литература

- Алексеев В.А., Алексеева Н.Г., Войтов Г.И. // ДАН. 2000. Т. 371. № 2. С. 227 – 230.
- Алексеев Ф.А., Войтов Г.И., Лебедев В.С. Несмелова З.Н. Метан. М.: Недра, 1978. 322 с.
- Аммосов С.М., Войтов Г.И., Коробейник Г.С. и др. О двух типах газовеохимических эффектов в поле источников сейсмических колебаний // Докл. АН СССР. 1988. Т. 301, № 1. С. 62–66.
- Аммосов С.М., Войтов Г.И., Коробейник Г.С. и др. О реакции газовой составляющей почвенного слоя на энергию импульсного сейсмического воздействия // Докл. АН СССР. 1986. Т. 290, № 5. С. 1172–1175.
- Бабешко В.А., Глушков Е.В., Зинченко Ж.Ф. Динамика неоднородных линейно-упругих сред. Монография. М.: Наука, 1989. 334 с.
- Войтов Г.И. // Геохимия. 2001. № 4. С. 422 – 433.
- Войтов Г.И. Химизм и масштабы современного потока природных газов в различных геоструктурных зонах Земли. Журнал Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева. 1986. Т. 31, № 5. С. 533–540.
- Войтов Г.И., Беликов В.М., Орлова Т.Г. и др. О химической и изотопно-углеродной нестабильностях природных газов грязевого вулкана Кипящий Бугор (Юго-Западная Туркмения). ДАН СССР. 1988. Т. 309. № 6. С. 1330–1336.
- Войтов Г.И., Голубев О.А., Колабашкин В.М. и др. Особенности внутрисуточного хода CH_4 в приземном слое атмосферы в пределах Джавахетского нагорья (Малый Кавказ) // Докл. АН СССР. 1982. Т. 265, № 1. С. 175–177.
- Войтов Г.И., Миллер Ю.М., Дадашев Ф.Г. и др. Особенность временных нестабильностей химического и изотопного состава газов грязевого вулкана Дашгиль (Шемахино-Кобыстанская грязевулканическая область Азербайджана). ДАН СССР. 1991. Т. 320. № 3. С. 586–590.
- Ворович И.И., Бабешко В.А., Пряхина О.Д. Динамика массивных тел и резонансные явления в деформируемых средах. Монография. Научный Мир. Москва, 1999. 246 с.
- Каракин А.В. Математическая модель корового волновода // Российский журнал наук о Земле. Т. 3. № 4. 2001.
- Ковалевский С.А. Грязевые вулканы Южного Прикаспия (Азербайджана и Туркмении). Баку: Азгостопиздат. 1940. 200 с.

Кудряшов Е.В. Геологический очерк грязевого вулкана Шуго. // Результаты исследования грязевых вулканов Крымско-Кавказской геологической провинции. М.: Изд-во АН СССР. 1939, с. 45-56.

Методика проведения полевых гелиеметрических работ // М.:ВИМС. 1987. 78 с.

Методические рекомендации по применению гелиеметрических исследований масштаба 1:200000 и крупнее для выбора промплощадок под ответственные инженерные сооружения. М. ВИМС. 1991. 82 с.

Николаев А.В., Аммосов С.М., Войтов Г.И. и др. О летучих продуктах в сейсмо-вибрационном поле подпочвенного слоя // Докл. АН СССР. 1984. Т. 279. № 6. С. 1444–1450.

Николаев А.В., Войтов Г.И., Аммосов С.М. О возможной роли механохимии в балансе метана в атмосфере Земли // Докл. РАН. 1994. Т. 337, № 3. С. 393–397.

Николаев А.В., Войтов Г.И., Гриневский А.О. и др. Вариации некоторых параметров водно-газовых систем месторождения минеральных вод Сартуани. обусловленные афтершоковой активностью Рачинского землетрясения 29.04.1991 г. // Докл. РАН. 1992. Т. 326, № 1. С. 54–58.

Прокопов К.А. К вопросу о происхождении природных газов в северо-западной части Северного Кавказа // Природные газы. 1932. Вып. 4/5.

Рудаков В.П., Войтов Г.И., Коробейник Г.С., Миллер Ю.М. Нестабильности химического состава, изотопно-углеродные и эманационные нестабильности газового вулкана Бугазский Таманской грязевулканической провинции. Докл. РАН. 1998. Т. 361. № 3. С. 397–401.

Собисевич А.Л., Лаверова Н.И. Собисевич Л.Е. и др. Сейсоактивные флюидно-магматические системы Северного Кавказа. Монография.Изд. ИФЗ РАН. Москва. 2005. 226 с.

Шнюков Е.Ф., Науменко П.И., Лебедев Ю.С. и др. // Грязевой вулканизм и рудообразование. Киев: Наук. думка. 1971. 332 с.