

Б 0Л

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

ГИРИНА Ольга Алексеевна

**СОВРЕМЕННЫЕ ПИРОКЛАСТИЧЕСКИЕ
ОТЛОЖЕНИЯ ВУЛКАНОВ КАМЧАТКИ И ИХ
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ**

Москва, 1994

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.Ломоносова

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра инженерной геологии и охраны геологической
среды

Гирина Ольга Алексеевна

Современные пирокластические отложения вулканов Камчатки
и их инженерно-геологические особенности

Специальность 04.00.07 -- инженерная геология,
мерзотоведение и грунтоведение

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого — минералогических наук

Москва, 1994

Работа выполнена в Институте вулканической геологии и геохимии ДВО РАН (Камчатка) и на кафедре инженерной геологии и охраны геологической среды геологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова.

Научный руководитель:

доктор геолого – минералогических наук,
профессор, академик АЕН России
В.Т.Трофимов

Официальные оппоненты:

доктор геолого – минералогических наук,
профессор, академик АЕН России
В.Т.Фролов (МГУ)

кандидат технических наук,
профессор Дудлер И.В. (МГИСА)

Ведущая организация: Институт вулканологии ДВО РАН

Защита состоится "2" декабря 1994 г. в 14³⁰ в аудитории 415
на заседании диссертационного совета по защите кандидатских
диссертаций К 053.05.06. в Московском государственном
университете им.М.В.Ломоносова.

Адрес: 119899, Москва, Воробьевы горы, МГУ, Геологический факультет

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке геологического
факультета МГУ (зона А, 6 – й этаж)

Автореферат разослан "2" ноября 1994 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью
учреждения, просим направлять по адресу: 119899 ГСП Москва,
Воробьевы горы, МГУ, Геологический факультет, Ученому секретарю
Специализированного Совета

Ученый секретарь
Специализированного Совета
по гидрогеологии, инженерной
геологии и мерзлотоведению
доктор геолого – минералогических наук



В.Н.Соколов

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. Пирокластические отложения - рыхлый обломочный материал, поступающий на поверхность земли в результате извержений вулканов - являются самыми распространенными вулканогенными продуктами.

Актуальность изучения современных пирокластических образований состоит в том, что благодаря методу актуализма можно расширять генезис пирокластических отложений любого возраста, а также восстанавливать эруптивный механизм их формирования, масштабы эксплозивных извержений вулкана, вулканоспасность и т.д. Изучение взаимосвязи состава и инженерно-геологических особенностей пирокластических пород актуально также для моделирования процессов извержения, интерпретации данных дистанционных наблюдений, в связи с исследованиями аналогов грунтов других планет, инженерно-геологическими изысканиями при освоении территорий.

Целью работы являлось комплексное изучение пирокластических отложений андезитовых и базальтовых вулканов Камчатки для описания инженерно-геологических особенностей этих отложений и поиска количественных критериев выделения их генетических типов.

В задачи настоящей работы входило: 1. Комплексные исследования инженерно-геологических особенностей каждого из генетических типов пирокластических пород андезитовых и базальтовых вулканов.

2. Сравнительная характеристика таких особенностей пирокластических отложений различных генетических типов андезитовых, и, в целом, андезитовых и базальтовых вулканов.

3. Изучение структурно-текстурных особенностей образцов ненарушенного строения пирокластических отложений на микроуровне.

4. Разработка критериев выделения генетических типов пирокластических образований андезитовых вулканов.

5. Количественное подтверждение гипотезы "дифференциации расслоения пирокластики".

6. Определение изменения физических и физико-механических свойств базальтовой тefры в результате воздействия на нее экзогенных и постмагматических факторов.

Фактический материал, положенный в основу работы, был собран автором во время полевых исследований в составе лаборатории "Оптической и микросондовой" и "Активного вулканизма" Института вулканологии ДВО АН СССР на действующих вулканах Камчатки -

Безымянный, Шивелуч и Толбачик, в период с 1982 по 1989 гг. Автор являлся участником изучения четырех извержений в Безымянный: 1984, 1985, 1986, 1989 г., проводившихся под руководством И.Т.Кирсанова (1984) и Г.Е.Боголевицкой. Были исследованы штокластические отложения извержений 1956 г. и 1984-89 гг. в Безымянный, 1964 г. и прошлых (предоставленных В.В.Пonomаревой - н.с. ИВГиГ ДВО РАН, Камчатка) в Шивелуч; 1975-1976 гг. и прошлых в Толбачик. Было отобрано более тысячи образцов штокластической различной генетических типов. В работе представлены материалы количественного исследования примерно 600 образцов штокластических отложений, многие из которых подверглись комплексному анализу. На склонах вулканов изучались их отложения в массиве, в лаборатории - заполнитель типов штокластических образований (частицы диаметром менее 2 мм).

Научная новизна. 1. Впервые дано столь детальное описание всех генетических типов штокластических отложений андезитовых вулканов Камчатки в соответствии с современной классификацией штокластической, принятой в мировой вулканологии. Впервые дана характеристика отложений пепловых облаков штокластических потоков.

2. Введен новый термин "дифференциация расслоения штокластической" описывающий процесс формирования из извергающейся на склон вулкана штокластической массы трех генетических типов отложений: штокластических потоков, штокластических волн, пеплов облаков штокластических потоков. Существование этого процесса количественно подтверждено данными состава и физических свойств генетических типов штокластических образований.

3. Детально исследованы комплексными методами инженерно-геологические особенности современных штокластических отложений и их заполнителей андезитовых и базальтовых вулканов. Показаны их различия как между штокластическими отложениями генетических типов андезитовых, так и, в целом, между таковыми образованиями андезитовых и базальтовых вулканов.

4. Впервые изучены на микроуровне структурно-текстурные особенности образцов ненарушенного сложения отложений тефры и штокластических волн андезитовых вулканов.

5. Обосновано, что инженерно-геологические характеристики штокластических отложений андезитовых вулканов могут использоваться в качестве критериев выделения их генетических типов.

6. Получены данные о физических и физико-механических свойствах базальтовой тейфы, подвергшейся постмагматическим и экзогенным преобразованиям.

7. Обоснован принцип стратиграфического расчленения базальтовой тейфы вблизи вулкана, где отсутствует почвенно-пирокластический чехол.

8. Дана расширенная инженерно-геологическая характеристика пирокластических отложений Камчатки и подтверждена вероятность использования их в качестве аналогов грунтов планет Земной группы (Луны, Венеры, Марса).

Практическая значимость определяется многоплановостью и комплексностью выполненного исследования: наряду с обоснованием подразделения пирокластических образований вулканов Камчатки на пять генетических типов, дано детальное описание их инженерно-геологических особенностей. Данные по инженерно-геологической характеристике генетических типов пирокластиков вулканов Камчатки могут быть использованы исследовательскими организациями при составлении проектов детальных исследований территорий, прилегающих к вулканам; научными учреждениями, рассматривающими вулканогенные отложения в качестве грунтов-аналогов других планет земной группы вулканологами в качестве критериев выделения генетических типов голоценовых и более древних пирокластических толщ и т.д.

Обоснованный принцип стратиграфического расчленения базальтовой пирокластики вблизи вулкана, где отсутствует почвенно-пирокластический чехол, позволяет более точно оценивать границы распространения пирокластических отложений каждого извержения, восстанавливать масштабы эруптивных событий и т.д.

Основные защищаемые положения.

1. В соответствии с современной генетической классификацией пирокластики, принятой в мировой вулканологии, обосновано и доказано подразделение пирокластических образований андезитовых вулканов Камчатки на пять типов: отложения 1- тейфы; 2- пирокластических потоков; 3- пирокластических болы; 4- пылевые облака пирокластических потоков; 5- направленного варага.

2. Установлены инженерно-геологические особенности каждого из генетических типов современных пирокластических отложений андезитовых и базальтовых вулканов Камчатки. Доказано, что различия инженерно-геологических особенностей генетических типов пирокла-

стических образований андезитовых вулканов обусловлены, главным образом, их генезисом. Обосновано, что различия таковых особенностей пирокластических пород андезитовых и базальтовых вулканов Камчатки связаны с разным составом и характеристиками их магм.

3. Введено понятие "дифференциация расслоения пирокластике" андезитовых вулканов. Данные химического, минерального, гранулометрического составов и плотности твердой фазы отложений, различные для заполнителей пирокластических потоков, пирокластических волн и пеплов облаков пирокластических потоков, подтверждают существование процесса расслоения пирокластике при движении ее по склону вулкана.

4. Обосновано, что для диагностики генетических типов пирокластике андезитовых вулканов необходимо комплексное их изучение. Инженерно-геологические особенности пирокластических отложений могут использоваться в качестве критериев выделения их генетических типов. Главными критериями являются: стратиграфический, структурно-текстуриный на макро- и микроуровнях, вещественный состав (химический, минеральный, гранулометрический), физическое свойство. Наиболее существенную роль в этой диагностике играют три взаимосвязанных показателя гранулометрического состава пород (распределение фракций заполнителя, форма и место на графике кумулятивных кривых, числовые значения гранулометрических статистических коэффициентов - медианы, среднего размера и т.д.)

5. Доказано, что гранулометрический состав, габитус частиц, величины показателей физических и физико-механических свойств (плотностей естественного сложения, пористости, прочностных и деформационных характеристик) базальтовой тифры, подвергшейся воздействию экзогенных и постмагматических процессов, по сравнению с таковыми характеристиками извергнутой пирокластике значительно изменяются в течение периодов десятков - сотен лет. Выявлена взаимосвязь между габитусом частиц тифры и временем воздействия на них экзогенных факторов. Обосновано, что габитус частиц базальтовой тифры и мощность выветрелой зоны ее отложений вблизи центра извержения (5-10 км) можно использовать для стратиграфического расчленения пирокластике этого вулкана.

Апробация работ. Результаты исследований докладывались и обсуждались на Всесоюзных Вулканологических совещаниях (1985, 1992), на Научных сессиях и Вулканологических семинарах ИВГИГ ДВО

РАН (1990, март 1993, апрель 1993, 1994), на Конференциях молодых ученых ИВ ДВО АН СССР (1985, 1986, 1988, 1989), на заседаниях Лаборатории динамической вулканологии ИВ ИГиГ ДВО РАН (1994), на Международном вулканологическом конгрессе (Майяц, 1990).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 статей и 7 тезисов докладов.

Объем работы. Диссертация состоит из Введения, 5 глав, Заключения, приложения. Работа изложена на стр. машинописного текста, содержит 20 табл., 55 рис.; список литературы включает 147 названий. В приложении приведены: Диаграммы гранулометрического состава пирокластических отложений андезитовых вулканов Камчатки.

Диссертационная работа была выполнена в Институте вулканической геологии и геохимии ДВО РАН на Камчатке и на Кафедре инженерной геологии и охраны геологической среды геологического факультета МГУ им.М.В.Ломоносова.

Автор благодарит за помощь в исследованиях пирокластических образований Камчатки преподавателей и сотрудников Кафедр инженерной геологии и охраны геологической среды Геологического факультета МГУ В.М.Ладигина, В.И.Соколова, Н.А.Румянцеву, П.Э.Роста, В.Н.Широкова, Н.Большакову, О.Деминьеву, А.П.Резниченко и других. Особую благодарность за большую помощь и поддержку приносит автор руководителю диссертационной работы — академику АН России, профессору В.Т.Трофимову.

Автор очень признателен сотрудникам Института вулканологии и Института вулканической геологии и геохимии ДВО РАН: в первую очередь И.Т.Кирсанову, Р.Е.Боговянской и О.А.Врабцовой, а также И.В.Мелекесцеву, Т.П.Кирсановой, Н.М.Кравченко, В.Ю.Кирьянову, В.В.Пономаревой, П.П.Фирстову, А.В.Колоскову, В.Н.Нечаву, сотрудникам фотолаборатории ИВ ДВО РАН и многим другим, словом и делом помогавшим появиться этой работе на свет.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во "Введении" обоснована актуальность изучения пирокластических образований вулканов, показаны цели и задачи, новизна исследования, его практическая значимость, основные защитные положения работы.

Глава I. Пирокластические образования вулканов

В этой главе описаны генезис, состав, структурно-текстуризм.

некоторые гранулометрические особенности пирокластических отложений андезитовых и базальтовых вулканов земли. Показано, что в соответствии с современной классификацией пирокластических отложений, принятой в мировой вулканологии, пирокластические образования андезитовых вулканов Камчатки подразделяются на пять генетических типов: отложения *тефры*, *пирокластических потоков* (pyroclastic flow), *пирокластических волн* (pyroclastic surge), *пепловых облаков пирокластических потоков* (ash cloud of pyroclastic flow или же ash cloud), *направленного взрыва* (deposit of directed blast).

Глава 2. Состав и инженерно-геологические особенности современных пирокластических образований Северной группы вулканов Камчатки.

2.1. Эта часть главы посвящена описанию распространения, вещественного состава *тефры* базальтового вулкана Толбачик, структурно-текстурных особенностей ее отложений, габитуса частиц; физических и физико-механических свойств (табл. I).

В результате многочисленных эксплозивных извержений в окрестностях в. Толбачик сформировался мощный слоистый пирокластический чехол. В ближней зоне вулкана преобладают слои лапиллей (плавков), на удалении от него - пеплы. Мощности отложений от 20-30 м у вулкана быстро (на протяжении нескольких километров) уменьшаются до первых метров и далее - на протяжении 100-200 км - до сантиметров и миллиметров.

Для изверженной базальтовой *тефры* характерны угловатые разноформные частицы, имеющие колечки вступы.

Воздействие процессов биветрирования на изверженную пирокластику ближней зоны базальтовых вулканов приводит к изменению габитуса частиц *тефры* в верхнем слое отложений какого-либо извержения. Чем длительнее перерыв между извержениями вулкана (чем дольше сохраняется "открытая система" - существование *тефры* на поверхности земли до закоронения ее под толщами пирокластике нового извержения), тем большей обработке, окатанности подвергнутся ее частицы. То есть, окатанность и степень окатанности частиц верхнего слоя *тефры* ближней зоны базальтовых вулканов отражает воздействие на них экзогенных процессов в перерывах между извержениями. Следовательно, габитус частиц *тефры* позволяет разделять толщи пирокластике ближней зоны базальтового вулкана на слои, относящиеся к разным извержениям этого вулкана.

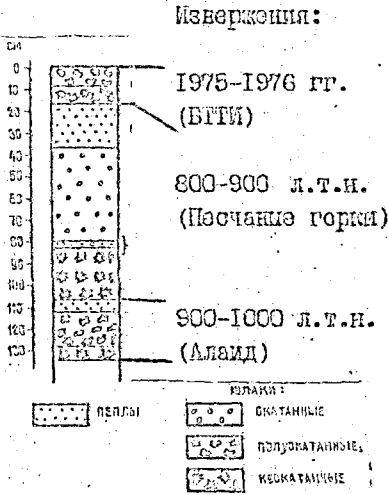
Таблица I

Физические и физико-механические свойства пирокластических отложений базальтовых и андезитовых вулканов Северной группы Камчатки

Вулканы	базальтовые	андезитовые
Плотность, г/см ³	<u>1.05(80)</u> 0.55-1.72	<u>1.77(310)</u> 0.87-1.90
Плотность тв. фазы, г/см ³	<u>2.97(20)</u> 2.54-3.01	<u>2.72(64)</u> 2.46-2.76
Влажность, %	<u>13 (30)</u> 0.25-22.7	<u>6(170)</u> 0-32
Коэффициент пористости, ед.	<u>2.37(30)</u> 0.71-3.77	<u>0.77(310)</u> 0.43-2.06
Пористость, %	<u>66(30)</u> 41-80	<u>42(310)</u> 30-67
Сцепление, МПа	<u>0.03(30)</u> 0-0.11	<u>0.01(27)</u> 0-0.03
Угол внутрен трения, град	<u>30(30)</u> 19-55	<u>39(27)</u> 22-53
Модуль общей деформации, МПа	<u>7.4(30)</u> 1.5-11	<u>5.2(23)</u> 2.2-16.6

В скобках - количество образцов.

На рис I. показан разрез тедри в Толбачик, в котором по габитусу частиц шлаков и опубликованным данными (по О.А.Брадцевой и др.) были выделены породы трех извержений: Северного пролива (извержение 1975 г), Песчаных горок (800-900 л.н.), Алаида (900-1000 (?) лет н.). Все отложения по составу мало отличаются друг



от друга, принадлежат примерно одному типу извержений. Небольшой перерыв между извержениями Песчаных гор и Алаида (50-150 лет) и прошедшие 19 лет после извержения Северного пролива, обуславливают сходство в габитусе частиц отложенных извержений Алаида и Северного пролива - их частицы стали полукатанными. Между извержениями Северного пролива и Песчаных гор произошло около 800-1000 лет, что способствовало более длительному экзогенному преобразованию отложений Песчаных гор и увеличению в них доли мелких фракций - частицы их илаков хорошо окатаны. Величина мощности слоя илаков, в которых частицы окатаны или полукатаны, отражает продолжительность перерыва между извержениями: чем более

Рис. 1. Разрез отложений тедри Толбачинского дола.

дольше перерыва между извержениями, тем больше

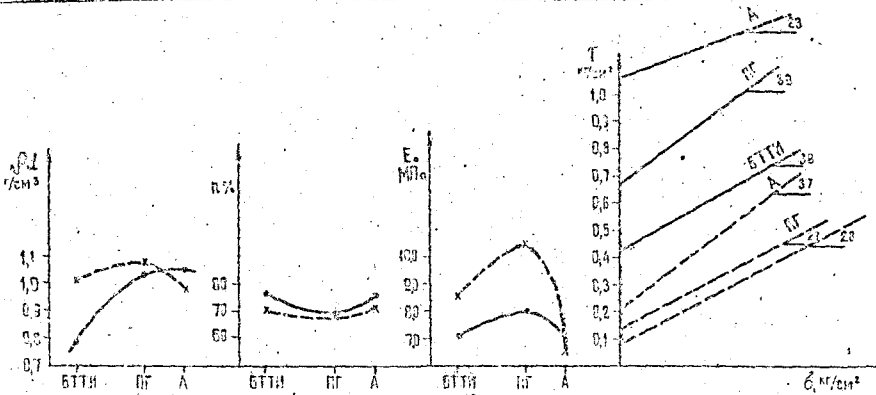


Рис. 2. Физические и физико-механические свойства отложений Толбачинского дола. Извержения: БТИ - Большое трещинное Толбачинское, ПГ - Песчаных гор, А - Алаида.

————— илаки - - - - - пеллы

длительен перерыв, тем мощнее слой выветренной пирокластички. Шлаки, частицы которых окатыми и полукатыми, имеют разные физические и физико-механические свойства (рис.2).

Таким образом, благодаря детальным исследованиям габитуса частиц базальтовой тифры и структурно-текстурных особенностей ее отложений вблизи центра извержения (5-10 км), можно проводить стратиграфическое расчленение пирокластических толщ этого вулкана там, где отсутствует почвенно-пирокластический чехол.

В результате воздействия экзогенных процессов на извергнутую пирокластику, ее структурно-текстурные особенности, физические и физико-механические свойства значительно изменяются в течение первых десятков или сотен лет. Показано, что гранулометрический состав отложений обогащается тонкими фракциями, угловатые бесформенные частицы приобретают вид окатанных. Плотность тифры, подвергшейся выветриванию (в результате эоловых процессов, коррозного выветривания и т.д.), выше, чем извергнутой - в среднем, 1.05 г/см^3 и 0.78 г/см^3 , соответственно. Пористость их, в среднем, равна 69 % и 76 %, соответственно. Прочность образцов тифры, преобразованной под влиянием экзогенных процессов, также повышается, что обусловлено увеличением тонких фракций в ее составе и большей плотностью отложений.

2.2. В этой части главы кратко описываются истории развития, основные черты извержений андезитовых вулканов Везувийский и Шивелуч, детально - инженерно-геологические особенности (пластический, минеральный, гранулометрический составы, структурно-текстурные характеристики, физические и физико-механические свойства) каждого из генетических типов пирокластических отложений этих вулканов (табл. 2).

Отложения всех генетических типов пирокластички относятся к типичным андезитам. Для их заполнителей характерно высокое содержание плагиоклаза (от 30 до 50 %), вулканического стекла (от 15 до 35 %), пироксена (от 1 до 10 %), магнетита (от 4 до 10 %), обломков пород - от 5 до 35 % (по данным В.Ильинкова - ИИИИ РАН).

Отложения пирокластических потоков согласуются с рельефом и заполняют каньоны на склонах и долины у подножия вулкана. Для пеплово-глибовых пирокластических потоков характерна протяженность до 10 км, для явильных потоков пористых андезитов - до 20-25 км; при мощности первых до 10 м и вторых - до 3-5 м при накапа-

строфических и до 20 м - при катастрофических извержениях вулкана (см. табл. 2).

Отложения агломерата взрыва в плане занимают некий сектор (около 60-70°) поверхности окрестностей, а основная масса его находится в интервале от 2-5 до 15 км от кратера вулкана, где мощность отложений может достигать 15-20 м. Отмечается гнездообразный характер скопления крупных обломков и примерно одинаковая мощность отложений на склонах и вершинах возвышенностей и на днищах отрицательных форм рельефа; перепад высот подошвы отложений может достигать 100-150 м.

Распространение всех остальных отложений генетических типов пирокластики - площадное, форма залегания - эллипсообразная.

Для отложений обеих разновидностей пирокластических волн типично залегание как в основании, так и на поверхности образований пирокластических потоков, а также вне связи с ними. "Эллипс" отложений пирокластических волн в зависимости от масштаба извержения вулкана на десятки или сотни метров шире "тела" пирокластического потока.

Отличительной чертой приземных волн является нечеткий, постепенный переход их отложений в образования пирокластических потоков и небольшая их мощность - до 10-15 см при некатастрофических и до 2-3 м при катастрофических извержениях вулканов.

Характерной чертой отложений волн пепловых облаков является то, что они перекрываются образованиями пепловых облаков пирокластических потоков. Мощность этой разновидности пирокластических волн достигает 1-2 м при некатастрофических и 3-5 м при катастрофических извержениях вулканов.

Отложения "песка направленного взрыва" формируются при катастрофических или крупномасштабных извержениях андезитовых вулканов, дальность их распространения иногда превышает 30-35 км. Отличительной чертой этих образований является несогласованность с рельефом - на одинаковых расстояниях от вулкана они имеют одну мощность как в долинах, так и на возвышенностях его окрестностей.

Залегание и его форма отложений тephры и пепловых облаков потоков одинаковы, однако ось распространения эллипса образований тephры совпадает с направлением ветра, пеплов облаков потоков - с направлением пирокластического потока. Протяженность эллипса образований пепловых облаков потоков оценивается в десятки, тeph-

Инженерно-геологические особенности пирокластических отложений различных

генетических типов эффузивных вулканов Камчатки

Отложения	Пирокластические потоки		Пирокластические болы		пеплы облаков потоков	тефра	Направленного зерна	
	пеплово-глибовые	изверженных пористых андезитов	приземные	пеплового облака			"агломерат"	"песок"
Залегание	Согласуются с рельефом		Плоскостное, в основании потоков, вне связи с ними. В разрезе - постепен переход к потоку	Плоскостное, на поверхности, за пределами, в основании потоков. На вершине границ ash cloud	Плоскостное, эллипсоидные, ось эллипса совпадает с протяженностью потока	Плоскостное, эллипсоидные, ось эллипса совпадает с направлением ветра	Локальное, узким сектором, у подножия вулкана	Плоскостное, широким сектором, и согласуясь с рельефом
Протяженность	до 10 км	до 20-25 км	Соизмер. с длин. потоков и прер. ее		десятки км	сотни км	до 15 км	до 30-35 км
Мощность	до 10 м	до 3-5 м - некатастрофические до 20 м - катастрофические	до 10-15 см до 2-3 м	до 1-2 м некатастрофические до 3-5 м катастрофические	2-5 см - некатастрофические 10 см - катастрофические, изв.	до 2-5 см на расстоянии 50-70 км	до 15-20 м в 10-15 км	до 1-2 м вблизи 1-2 см вдали от
Слоистость	неслоисты	неслоисты, иногда локальные линзы крупных обломков	Слоистость неясно выраженная	Слоист. четкая, иногда конолиты, облик отложений	Неслоисты, в подошве может быть слой аэрацион. лапилля	Стратифицированы в каждом из слоев	Неслоисты, хаотическое распределение материала	Слоистость четкая
Количество обломков, %	до 40-50	до 30-40	до 10	до 20-25	нет	вблизи вулкана - до 70-90	до 80	до 10-20
Максимальный размер обломков	до 5-7 м	до 0.8-1 м	до 1 см - некатастрофические до 10 см - катастрофические	до 3-5 см - некатастрофические	нет	вблизи вулкана - бомбы, лапилля	до 10 м	до 10-20 см
Отсортированность	несортированы	несортированы	Хорошо сортированы, однородны	Сортированность каждого слоя	Хорошо сортированы, однородны	Сортированы	Несортированы	Сортированы
Плотность сложения, г/см ³	$\frac{1.56(127)}{1.27-1.88}$	$\frac{1.44(13)}{1.19-1.72}$	$\frac{1.53(55)}{1.30-1.64}$	$\frac{1.41(10)}{1.30-1.67}$	$\frac{1.09(3)}{0.87-1.20}$	0.89-1.06	$\frac{1.47(10)}{1.09-1.75}$	$\frac{1.60(4)}{1.50-1.77}$
Пористость, %	42 (127)	47 (13)	43 (55)	49 (10)	59 (3)	56 (2)	47 (10)	41 (2)
Преобладающая фракция заполнителя, мм	некатастрофические извержения 0.125 - 0.25 катастрофические извержения 0.125 - 0.25 0.25 - 0.5	Такая как потоки 0.125 - 0.25 или 0.25-0.5	Некатастроф. изв. 0.125 - 0.25 Катастроф. изверж. 0.125 - 0.25 0.25 - 0.5	менее 0.056	по мере удаления от вулкана - неясно	0.125 - 0.25 0.25 - 0.5 менее 0.056	0.5 - 1.0	
Содержание частиц менее 0.056 мм	некатастрофические извержения до 10-15 % катастрофические извержения до 15 %	до 5 %	до 5-10 %	до 35 %	до 55-65 %	На расстояниях до сотен км - 90-100 %	до 20 %	до 5 %
Медиана, мм	некатастрофические извержения $\frac{0.26(28)}{0.21-0.37}$ катастрофические извержения $\frac{0.25(24)}{0.19-0.32}$ $\frac{0.25(15)}{0.19-0.34}$	некатастрофические извержения $\frac{0.17(26)}{0.12-0.21}$ катастрофические извержения $\frac{0.12(9)}{0.09-0.15}$ $\frac{0.24(2)}{0.17(8)}$	$\frac{0.05(9)}{0.01-0.07}$	Некатаст. извер.	$\frac{0.24(11)}{0.24-0.26}$	$\frac{0.42(19)}{0.37-0.60}$		
Средний размер	некатастрофические изв-ния $\frac{0.38(29)}{0.32-0.50}$ катастрофические извержения $\frac{0.36(15)}{0.31-0.41}$	некатастрофические изв-ния $\frac{0.38(24)}{0.30-0.47}$ катастрофические извержения $\frac{0.35(2)}{0.31-0.41}$	некатастрофические изв-ния $\frac{0.22(26)}{0.13-0.27}$ катастрофические извержения $\frac{0.16(9)}{0.12-0.23}$ $\frac{0.22(8)}$	Некатастрофичес. извержения вулк.	$\frac{0.07(9)}{0.05-0.10}$	$\frac{0.38(11)}{0.38-0.41}$	$\frac{0.56(19)}{0.47-0.62}$	
Коэффициент сортировки	некатастрофические извержения $\frac{0.33(29)}{0.24-0.41}$ катастрофические извержения $\frac{0.35(24)}{0.28-0.42}$ $\frac{0.32(15)}{0.30-0.36}$	некатастрофические извержения $\frac{0.16(26)}{0.07-0.23}$ катастрофические извержения $\frac{0.14(9)}{0.09-0.22}$ $\frac{0.25(8)}$	$\frac{0.05(9)}{0.01-0.08}$	Некатастрофичес. извержения вулк.	$\frac{0.40(11)}{0.39-0.42}$	$\frac{0.50(19)}{0.40-0.54}$		
Чистота твердых тел, г/см ³	$\frac{2.69(14)}{2.64-2.74}$	$\frac{2.71(10)}{2.64-2.74}$	$\frac{2.69(16)}{2.56-2.75}$	$\frac{2.70(6)}{2.69-2.71}$	$\frac{2.58(10)}{2.46-2.66}$	$\frac{2.76(4)}{2.72-2.76}$	$\frac{2.73(4)}{2.72-2.74}$	
Г _с , МПа	0.02 (4)	0.02 (5)	0 (7)	0.04 (2)	0.04 (2)	0-0.02	0.01 (4)	0 (4)
Модуль деформации	$\frac{34(13)}{22-51}$	$\frac{38(5)}{25-53}$	$\frac{42(7)}{24-58}$	$\frac{41(2)}{30-52}$	$\frac{55(2)}{54-56}$	33-38	$\frac{35(4)}{29-50}$	$\frac{47(3)}{33-55}$
	$\frac{5.0(4)}{2.2-7.8}$	$\frac{10.8(3)}{7.6-16.6}$	$\frac{6.0(8)}{2.5-15.6}$	$\frac{5.3(3)}{3.8-8.1}$	5.0(1)	2.7-4.4	$\frac{2.7(1)}$	$\frac{5.9(3)}{2.9-9.0}$

(частицы диаметром менее 2 мм)

ри - в сотни километров. Мощность отложений зависит от масштаба извержений: пеплов облаков потоков - до 2-5 см при некатастрофических и до 10 см при катастрофических извержениях вулканов, тефры - от нескольких десятков сантиметров до первых метров вблизи вулкана и до 2-5 см на расстояниях 50-70 км от него.

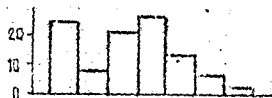
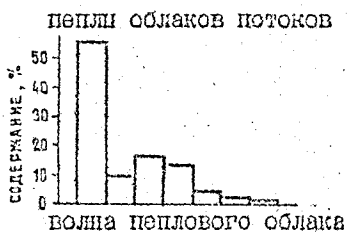
Разлиция в содержании обломков и их максимальных размерах в разных типах пирокластичеки показаны в табл. 2. Повтори, что наибольшее количество обломков (до 80 %) при их максимальном размере (до 10 м) присуще несортированным продуктам агломерата направленного взрыва, в хорошоотсортированных отложенных пепловых облаков пирокластических потоков обломки отсутствуют.

Выявлено, что каждому генетическому типу пирокластических отложений соответствует определенное распределение фракций заполнителя, причем преобладающие фракции заполнителей пирокластических потоков разных вулканов неодинаковы (рис. 3). Например, несмотря на разные масштабы извержений в.Безымянный в 1956 и 1984-1989 гг. их преобладающая фракция одна и та же - 0.125 - 0.25 мм. Для заполнителей отложений пирокластических потоков в.Шивелуч преобладающей является фракция 0.125-0.5 мм, хотя распределением фракций отложения потоков в.Шивелуч похожи на таковые в.Безымянный.

Яркой особенностью заполнителей отложений приземных волн является одномодальное распределение фракций - резкое преобладание частиц диаметром 0.125 - 0.25 мм (до 30-42 %, в.Безымянный) или 0.25 - 0.5 мм (до 37-45 %, в.Шивелуч). Содержание обломков крупнее 2 мм содержится в них не более 10 %. Характерно, что преобладающие фракции заполнителей приземных волн и пирокластических потоков - одинаковы.

Заполнители отложений волн пепловых облаков имеют бимодальное распределение фракций - преобладание частиц размером менее 0.056 мм и крупнозернистой фракции, которая, как правило, совпадает с таковой заполнителей пирокластических потоков. Содержание обломков в отложениях таких волн достигает 20-25 %.

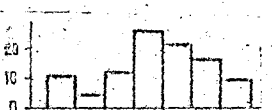
Можно утверждать, что проведенные исследования помогут с большей достоверностью диагностировать разновидности отложений пирокластических волн и, следовательно, точнее определять вулканоспасность территорий, так как известно, что наиболее опасными считаются такие извержения андезитовых вулканов, при



приземная пирокластическая волна



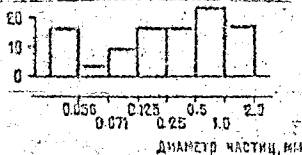
пирокластический поток



"песок направленного взрыва"



"агломерат направленного взрыва"



ДИАМЕТР ЧАСТИЦ, мм

которых формируется отложение
волн пещевого облака.

Распределение фракций за-
полнителя "песка направленно-
го взрыва" очень похоже на та-
кое у приземных волн, но пре-
обладающей является крупнозер-
нистая фракция 0.5-1.0 мм, а
гранулометрические характерис-
тики (медиана, средний размер
и др.) отложений имеют самые
высокие по сравнению с другими
типами пирокластики численные
значения.

Кумулятивные кривые грану-
лометрического состава заполни-
телей агломерата направленно-
го взрыва резко пересекают
на графике кривые состава от-
ложений других генетических
типов. Преобладающими фракци-
ями заполнителей агломерата
взрыва являются 0.125-0.25,
0.25-0.5, 0.5-1.0 и <0.05 мм,
то есть все те фракции, кото-
рые преобладают у заполните-
лей других генетических типов
пирокластических отложений
некатастрофических и катастро-
фических извержений вулканов.
Возможно, это связано с тем,
что в процессе формирования
отложений агломерата они не
подвергались перемешиванию и

"расслоению", как пирокластические потоки, а

Рис. 3. Диаграммы гранулометрического состава заполнителей пирокластических отложений андезитовых вулканов Камчатки.

Вероятно, что гранулометрический состав заполнителей агломерата подтверждает их взрывное происхождение, а название этого типа пирокластических отложений ("агломерат направленного взрыва") - генетически верно.

Различные распределения фракций заполнителей пирокластических отложений каждого из генетических типов обуславливают неодинаковые формы кумулятивных кривых и их местоположение на графике, а, следовательно, и численные значения их статистических гранулометрических коэффициентов (медианных диаметров, среднего размера частиц и т.д.) (см. табл. 2).

Наименьшими величинами гранулометрических статистических коэффициентов обладают пеплы облаков потоков и тефра, содержание в этих отложениях тонких фракций может достигать 55-65 % и 90-100 %, соответственно.

Комплексный учет всех характеристик гранулометрического состава (распределения фракций, формы и места на графике кумулятивных кривых, статистических коэффициентов) пирокластических отложений позволяет достоверно диагностировать их генетические типы.

Количественные показатели других инженерно-геологических особенностей различных генетических типов пирокластических отложений андезитовых вулканов Камчатки приведены в табл. 2.

Глава 3. Сравнительная характеристика инженерно-геологических особенностей пирокластических отложений вулканов Камчатки

3.1. Сравнительная характеристика инженерно-геологических особенностей генетических типов пирокластических отложений андезитовых вулканов

Показано, что наибольшее содержание SiO_2 присуще тefре дальнего разноса (в 20-50 км от вулкана и далее), что обусловлено волевой гравитационной дифференциацией пирокластичности; несколько меньше - пеплам облаков пирокластических потоков (связано с процессом дифференциации расслоения пирокластичности). Заполнители отложений пирокластических потоков имеют примерно такую же кислотность, что и обломки лав потоков, заполнители пирокластических волн - меньшую, чем отложения пеплов облаков потоков и больше, чем заполнители отложений пирокластических потоков.

Такая же тенденция постепенного уменьшения содержания компонента от заполнителей отложений пирокластических потоков к заполнителям отложений пирокластических волн и к пеплам облаков потоков наблюдается в отношении оксида железа и менее выраженная -

в отношении оксидов магния и кальция.

Изучение микростроения образцов ненарушенного сложения тефры в Шивалуч и отложений обеих разновидностей пирокластических волн в Базимьянний с помощью электронного сканирующего микроскопа показало, что отложения волн пепловых облаков потоков и тефры агрегированы, а приземных волн - нет. Тефра и образования волн пепловых облаков формировались из "пепловых облаков" (тефра из эруптивной тучи, ash cloud surge - из "волны пеплового облака"). Различный генезис отложений обусловил разную крупность их агрегатов, на что указывает большая внутриагрегатная, по сравнению с межагрегатной пористость тефры. Следовательно, использование электронного сканирующего микроскопа позволяет уточнять диагностику генетических типов пирокластике.

Гранулометрический состав заполнителей генетических типов пирокластических отложений различен (см. табл. 2). Это обстоятельство можно использовать для диагностики генетических типов голоценовых или более древних толщ пирокластике.

Плотности твердой компоненты заполнителей отложений разных генетических типов пирокластике андезитовых вулканов, в целом, попки, (см. табл. 2), но средние значения плотности заполнителей агломерата направленного взрыва (2.76 г/см^3) несколько выше, а пеплов облаков потоков (2.58 г/см^3) - ниже других типов пород (в среднем, они варьируют от 2.69 до 2.73 г/см^3).

Плотность естественного сложения пирокластических отложений в среднем находится в пределах $0.89 - 1.60 \text{ г/см}^3$. Самые высокие ее значения характерны для пород песка направленного взрыва (от 1.50 до 1.77 г/см^3), самые низкие - для тефры дальнего разброса и пеплов облаков потоков ($0.89-1.06$ и 1.09 г/см^3 , соответственно). Плотность отложений пеплово-глибовых потоков, в связи с большим содержанием в них мелких обломков пород и заполнителя, несколько выше, чем "жвельных" (в среднем, 1.56 (127 образцов) и 1.44 (13) г/см^3 , соответственно).

Пористость отложений в естественном залегании наибольшая у отложений пепловых облаков потоков (в среднем, 59%) - благодаря высокой агрегированности материала, наименьшая - у "песка направленного взрыва" (в среднем, 41%), в связи с крупнозернистостью и высокой плотностью их пород.

Плотность сложения, количество обломков и тонких фракций в

заполнителя, агрегированность материала повлияли на то, что пористость отложений пеплово-глибовых потоков ниже, чем "ювенильных" (в среднем, 42 (I27) и 47 (I3) %, соответственно), а пористость пород волн пепловых облаков выше, чем приземных волн (в среднем, 49 (I0) и 43 (55) %, соответственно).

Пористость отложений агломерата сравнима с таковой продуктов пирокластических потоков ювенильных порфитов андезитов и волн пепловых облаков, пористость тефры - с пеплами облаков потоков.

Исудь общей деформации заполнителей отложений разных генетических типов пирокластики в среднем имеет величины около 4-6 МПа, хотя вариации его значений значительны - от 2.2 до 16.6 МПа.

Прочностные характеристики заполнителей пирокластических отложений разных генетических типов варьируют в пределах: сцепление - в среднем, от 0 до 0.04 МПа, угол внутреннего трения - в среднем, от 34 до 55°. Наибольшими прочностными показателями обладают заполнители отложений волн пепловых облаков и пеплы облаков потоков ($C=0.04$ МПа, $\gamma=41$ и 55° , соответственно), в связи с высоким содержанием в них тонких фракций; наименьшими - заполнители отложений приземных волн и "песка направленного взрыва" ($C=0$, $\gamma=42$ и 47° , соответственно), в связи с крупнозернистостью и хорошей отсортированностью их материала (см. табл. 3).

Вышеуказанные различия инженерно-геологических особенностей пирокластических отложений разных генетических типов обусловлены, главным образом, неодинаковыми условиями их формирования в процессе кульминационных фаз извержений андезитовых вулканов.

3.2. Сравнительная характеристика инженерно-геологических особенностей пирокластических отложений андезитов и базальтовых вулканов

В целом, пирокластические образования базальтовых вулканов представлены одной разновидностью - тефрой, андезитовых - отложениями тефры, пирокластических потоков и волн, направленного взрыва, пеплов облаков пирокластических потоков.

Тефра базальтовых вулканов состоит преимущественно из вулканического стекла базальтового состава с содержанием вкрапленников породобразующих минералов (плагиоклаза, пироксена, оливина, магнетита) не превышающим 20-30 % объема породы.

Минеральный состав пирокластических отложений разных генетических типов андезитовых вулканов одинаков по компонентному

содержанию (отложения состоят в основном из кристаллов плагиоклаза, пироксена, магнетита, роговой обманки и их сростков, вулканического стекла андезитового состава и обломков пород), но различен по их количественным соотношениям. Яркой чертой минерального состава отложений всех типов является преобладание плагиоклаза над вулканическим стеклом.

Для базальтовой тейфры характерны частицы изометричной и удлиненной формы. Заполнителям андезитовых пирокластических отложений также присущи частицы изометричной и удлиненной формы. Но если на базальтовых вулканах разная форма частиц, обусловленная вариациями состава базальтов, может наблюдаться на одном вулкане, то на андезитовых — для каждого из вулканов существует характерная лишь ему форма и структура частиц отложений. Например, в Безымянный присущи преимущественно изометричные частицы монолитного облака, в Шивелуч — тонкие, несколько удлиненные частицы.

Изученные отложения базальтовой тейфры по гранулометрическому составу относятся к пескам (пескам крупными и средней крупности) и лапиллякам (грабидным и дресвяным грунтам). Заполнители отложений разных генетических типов пирокластике андезитовых вулканов — к пескам широкого спектра зернистости — от крупнозернистых до пылеватых.

Средняя плотность твердой фазы базальтовой тейфры (2.93 и 2.56 г/см³ для магнезиальных и глиноземистых базальтов, соответственно) почти одинакова с плотностью лав в Толбачик — 2.91 — 2.98, в среднем — 2.95 (7 обр.) г/см³ и 2.65 — 2.88, в среднем — 2.86 (9) г/см³ (лавы Северного и Южного прорывов извержения 1975-1976 гг, соответственно; данные В.М.Ладигина, Геологический факультет МГУ). Средняя плотность заполнителей пирокластических отложений андезитовых вулканов (в среднем 2.72 (64) г/см³) почти равна плотностям лав андезита. Например, плотность роговообманковых андезитов купола в Шивелуч 1980-1981 гг. имеет значения 2.69 — 2.72 г/см³; плотность лав в Безымянный (извержения 1979 г.) — 2.69 — 2.80, в среднем — 2.75 (11) г/см³ (данные В.М.Ладигина, МГУ)

Плотности естественного сложения пирокластике варьируют в широких пределах — 0.55 — 1.72 г/см³ тейфры базальтовых вулканов и 0.87 — 1.90 г/см³ отложений андезитовых вулканов — (табл. I). Замечательно то, что в отложениях андезитовых вулканов наименьшей плотностью обладают пилы облаков, потоков,

то есть самые тонкие пирокластические отложения ($0.87 - 1.20$ г/см³); в тефре базальтовых - шлаки ($0.62 - 1.16$ г/см³).

В целом, отложения базальтовых вулканов, по сравнению с андезитовыми, имеют меньшую плотность в естественном залегании (в среднем 1.05 г/см³ и 1.77 г/см³, соответственно).

Пористость базальтовой тефры выше, чем андезитовой пирокластики (в среднем, 66% и 42% , соответственно). Высокая пористость отложений базальтовых шлаков обусловлена структурой и высокой пористостью их частиц, рыхлым сложением пород. Высокая пористость андезитовой тефры, вероятно, - более сильным дроблением андезитовой магмы, нежели базальтовой, и образованием более тонких частиц, на поверхности которых адсорбируются газы и пары воды, что способствует агрегации неплывших частиц и препятствует их плотной упаковке.

Деформационные характеристики заполнителей пирокластических отложений базальтовых и андезитовых вулканов варьируют в разных пределах ($1.5 - 11$ и $2.2 - 16.6$ МПа, соответственно), но средние их значения выше у базальтовой тефры (7.4 и 5.2 МПа, соответственно) (см. табл. I). Большая деформируемость под нагрузкой базальтовой тефры по сравнению с заполнителями андезитовых отложений разных генетических типов обусловлена различными габитусом их частиц и гранулометрическим составом.

Прочностные характеристики пирокластики базальтовых и андезитовых вулканов, в целом, одинаковы. Сцепление базальтовой тефры равно в среднем 0.03 МПа, заполнителей андезитовой пирокластики - 0.01 МПа (см. табл. I). Углы внутреннего трения равны в среднем 30° и 39° , соответственно. Вероятно, что на прочностные показатели базальтовой тефры большее влияние оказывает сцепление частиц механической природы, а андезитовой пирокластикой - большая плотность сложения отложений и значительное количество тонких частиц.

В целом, физические и физико-механические свойства пирокластических отложений базальтовых и андезитовых вулканов различны. Это обусловлено, в первую очередь, составом и характеристиками (газонасыщенностью, температурой, вязкостью и т.д.) магм этих вулканов, которые предопределяют генезис пирокластики, структурно-текстурные особенности ее частиц и отложений. Главное влияние на различия вышеуказанных свойств базальтовых и андезитовых отложений оказывают габитус их частиц и гранулометрический состав.

Глава 4. Дифференциация расслоения пирокластики и критерии выделения генетических типов пирокластических отложений андезитовых вулканов Камчатки

4.1. Дифференциация расслоения пирокластиков при движении ее по склону вулкана в процессе кульминационных фаз извержений

Разделение низвергнутой на склон вулкана пирокластической массы на "слои", из которых под действием гравитации формируются пирокластические отложения трех генетических типов (пирокластические потоки и волны, пеплы облаков потоков), автор назвал "дифференциацией расслоения пирокластики". Этот процесс является неотъемлемой частью общего процесса дифференциации пирокластической массы в процессе кульминационных фаз извержений. Если боковая гравитационная дифференциация характеризует "горизонтальную" составляющую этого общего процесса, то дифференциация расслоения - его "вертикальную".

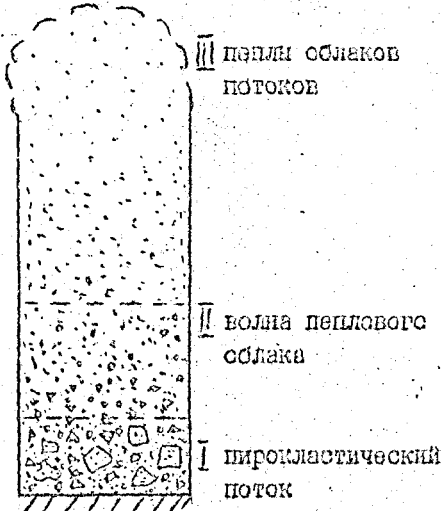


Рис. 4. Схематический разрез низвергнутой пирокластической массы, движущейся по склону андезитового вулкана.

Наибольшая масса твердых частиц на единицу площади принадлежит потоку (слой I), в котором глина и обломки составляют помимо заполнителя 50-70% наименьшая - пепловым облакам потока (слой III). Слой II занимает промежуточное место в разрезе (рис 4) - содержание лапиллей в нем может достигать 20-25 %.

Соотношение мощностей трех "слоев" движущейся пирокластической массы, возможно, будет близко следующему: I:II:III как I: 1-2: 50-100. Мощности сформировавшихся отложений на поверхности земли соотносятся примерно так: I:II:III как 500: 100: 1 (оценки автора по фотоприемам кульминаций извер-

жений в.Безимынный и по изучению мощностей отложений этого вулкана извержений 1956, 1984-1989 гг.).

Количественное подтверждение существования дифференциации расслоения дано автором на примере отложений в. Безымянный извержений 1984-1989 гг. Показано, что наибольшим содержанием оксида кремния обладают обломки пирокластических потоков, к ним близки составы заполнителей потоков (56.72 вес. % SiO_2 (33 образца) и 56.68 вес. % (16), соответственно), далее - заполнители пирокластических волн - 57.18 вес. % (10). Наиболее кислыми является пеплы облаков потоков (60.61 вес. % (8) и тефра (61.72 вес. % (7)), что отмечали и другие авторы.

Обобщенный минеральный состав лав сопоставим с составом заполнителей пирокластических потоков, состав заполнителей отложений пирокластических волн отличается от них большей долей плагиоклаза и обломков пород. Плотности твердой фазы заполнителей отложений потока, волн и пеплов облака потока, например, извержения в. Безымянный в 1984 г., имеют значения 2.69 (4), 2.56 (4) и 2.47 (4) г/см³, соответственно.

Показано, что распределение фракций заполнителей трех типов пирокластике (см. рис. 3), расположение их кумулятивных кривых на графиках, а также их гранулометрические статистические коэффициенты неодинаковы. Например, Медианные диаметры заполнителей пирокластических потоков, волн и пеплов облаков потоков в. Безымянный извержений 1984-1989 гг. имеют значения 0.26 (28), 0.12 (9) и 0.05 (9) мм, Средний размер - 0.33 (28), 0.16 (9) и 0.07 (9), соответственно (см. табл. 2).

Таким образом, различия в составах, плотностях твердой фазы отложений разных генетических типов подтверждает существование процесса дифференциации расслоения пирокластике андезитовых вулканов.

4.2. Критерии выделения генетических типов пирокластических отложений андезитовых вулканов

Показано, что каждый из генетических типов пирокластических отложений андезитовых вулканов обладает определенными инженерно-геологическими особенностями (залеганием, протяженностью, мощностью, отсортированностью, гранулометрическим, химическим, минеральным составами, физическими и физико-механическими свойствами). Обосновано, что эти особенности могут быть использованы в качестве критериев выделения генетических типов современной и более древней пирокластике. Доказано, что наиболее значимыми

критериями являются: стратиграфический, структурно-текстурный, гранулометрический. Для уточнения и подтверждения диагностики типов пирокластичности необходимо изучение их химического, минерального состава и физических свойств.

Глава 6. Вулканогенные образования Земли как аналоги грунтов других планет Земли группы

Описаны известные данные о поверхностях и о свойствах реголита Луны, Венеры и Марса. Проведено сравнение их пород с пирокластическими образованиями вулканов Камчатки. Показано, что аналогами грунтов Луны может выступать первичная тефра Толбачинского дола; Венеры - тефра Толбачинского дола, преобразованная в результате постмагматических процессов; Марса - пирокластические отложения в. Безмяный.

Основные выводы работы заключаются в следующем.

1. Обосновано и доказано существование на действующих вулканах Камчатки пяти типов современных отложений: 1) тефры, 2) пирокластических потоков, 3) пирокластических волн (приземных - ground surge и волн пепловых облаков - ash cloud surge), 4) пепловых облаков пирокластических потоков (ash cloud), 5) направленного взрыва (агломерата и песка взрыва). Выявлены инженерно-геологические особенности каждого из этих генетических типов пород (структурно-текстурные на макро- и микроуровнях; химический, минеральный, гранулометрический составы, физические и физико-механические свойства заполнителей отложений, а также физические свойства - плотность естественного сложения и пористость - пирокластических образований в массиве).

2. Обосновано, что различия инженерно-геологических особенностей генетических типов пирокластических отложений андезитовых вулканов обусловлены их генезисом. Различия таковых особенностей пирокластичности андезитовых и базальтовых вулканов связаны разнми составам и характеристикам (газонасыщенность, температурой, вязкостью и т.д.) их магм.

3. Выявлено, что инженерно-геологические особенности пирокластических отложений андезитовых вулканов могут быть использованы в качестве критериев выделения их генетических типов. Показано, что изучение микростроения образцов ненарушенного сложения пирокластичности позволяет существенно уточнять диагностику генетических типов.

4. Введен новый термин "дифференциация расслоения", описывающий процесс формирования из низвергающейся пирокластической массы трех генетических типов отложений. Существование этого процесса количественно подтверждается данными составов и свойств пород.

5. Выявлено, что каждому генетическому типу пирокластических отложений соответствует отделенное распределение фракций заполнителя, причем преобладающие фракции заполнителей пирокластических потоков разных вулканов неодинаковы. Показано, что заполнителям приземных пирокластических волн присуще одномодальное распределение фракций, а содержание обломков крупнее 2 мм не превышает 10 %. Заполнителям пирокластических волн пепловых облаков - бимодальное распределение фракций, содержание обломков - не более 20-25 %. Яркая черта сложений волн пепловых облаков - залегание на их кровле материала пеплов облаков пирокластических потоков.

6. Показано, что значительное изменение гранулометрического состава и физических свойств извергнутой базальтовой тefры под влиянием экзогенных или постмагматических процессов происходит в течение первых десятков-сотен лет.

7. Обосновано, что изучение габитуса частиц базальтовой тefры вблизи центра извержения позволяет проводить стратиграфическое расчленение пирокластических толщ вулкана там, где отсутствует почвенно-пирокластический чехол.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Гирина О.А. Влияние поствулканических процессов на изменение физико-механических свойств шлаков ВТМ 1975-76 гг. // Вулканологические исследования на Камчатке. II-Камчатский. 1985. С. 7-12.

2. Андреев В.И., Гирина О.А., Шутова Г.С. Физико-механические свойства пирокластических отложений Толбачинской региональной зоны и причины их изменения. // Вулканы и связанные с ними процессы. Тезисы докл. VI Всесоюз. вулканологич. совещан. II-Камчатский 1985. С. 5-6.

3. Кирсанов И.Т., Двигало В.Н., Гирина О.А. и др. Извержение в. Безымянный в 1984 г., его продукты, геологический и энергетический эффекты. // Вулканы и связанные с ними процессы. Тезисы докладов VI Всесоюз. вулканологич. совещания. II-Камчатский. 1985. С. 34-35.

4. Гирина О.А. Инженерно-геологические особенности шлаков Толбачинского дола и их преобразование в ходе поствулканических

процессов.//Инженерная геология. 1986. N I.C. 32-38.

5. Гирина О.А. Типы пирокластических отложений вулкана Безымянный и критерии их выделения.//Вулканологические исследования на Камчатке. II-Камчатский. 1988. С. 9-14.

6. Алдидибилов М.А., Богоявленская Г.Е., Кирсанов И.Т., Фирстов П.П., Гирина О.А. и др. Извержение вулкана Безымянный в 1985 г.//Вулканология и сейсмология. 1988. N 6.C. 3-17.

7. Гирина О.А. Пирокластические отложения извержения вулкана Безымянный в октябре 1984 г.//Вулканология и сейсмология. 1990. N 3. С. 82-91.

8. Максимов А.П., Фирстов П.П., Гирина О.А., Малышев А.И. Извержение вулкана Безымянный в июне 1986 г.//Вулканология и сейсмология. 1991. N I. С. 3-20.

9. Гирина О.А. Отложения пирокластических волн вулкана Безымянный.//Вулканизм, структуры и рудообразование. Тезисы докладов VII Всесоюз. вулканологич. совещания. II-Камчатский. 1992. С. 14.

10. Кирсанов И.Т., Гирина О.А. Особенности вулканогенных отложений Камчатки как аналогов грунтов других планет (на примере вулканов Ключевской группы, Авачинского, Горелого, Мутновского)// Вулканизм, структуры и рудообразование. Тезисы докладов VII Всесоюз. вулканологич. совещания. II-Камчатский. 1992. С. 20-21.

11. Гирина О.А., Богоявленская Г.Е., Демьянчук Ю.В. Извержение вулкана Безымянный 2 августа 1989 г.//Вулканология и сейсмология. 1993. N 2. С. 8-16.

12. Гирина О.А. Пирокластические образования вулкана Безымянный извержений 1984-1989 гг.//Вулканология и сейсмология. 1993. N 4 С. 88-97.

13. Гирина О.А., Румянцева Н.А. Микростроение тейфи вулкана Шивелуч.//Вулканология и сейсмология. 1993. N 5. С.

14. M.A.Aldidibirov, G.E.Bogoyavlenskaya, I.T.Kirsanov, P.P.Firstov, O.A.Girina, A.B.Belousov, E.Yu.Zhdanova and A.I.Malyshev. The 1985 Eruption of Bezumiannyi.//Volcanology and seismology. 1990. No 6. p. 839-863.

15. Bogoyavlenskaya G.E., Girina O.A. Types of pyroclastic deposits of 35-year Bezumianny eruptive circle. Abstracts. International volcanological congress. Mainz. 1990.

16. G.E.Bogoyavlenskaya, T.T.Kirsanov, P.P.Firstov and O.A.Girina. Bezumianny (Kamchatka). 1984-1985 eruptions and

related pyroclastic deposits. SEAN Bulletin. N 4. 1926. p.15-20.

17. O.A.Girina. Pyroclastic deposits of the Bezmyannyi eruption in October 1984 // Volcanology and seismology. 1991. N 3. p.407-417.

18. A.P.Maksimov, P.P.Firstov, O.A.Girina and A.I.Malyshov. The June 1926 Eruption of Bezmyannyi. // Volcanology and seismology. 1992. N 1. p. 1-20.

19. P.P.Firstov, A.P.Maksimov and O.A.Girina. Besymyanny (Kamchatka). Lava extrusion, pyroclastic flows. SEAN Bulletin. N 7. 1936. p. 12.

A handwritten signature in cursive script, likely belonging to one of the authors mentioned in the text, positioned centrally below the list of references.