

НЕОБХОДИМОЕ ДОБАВЛЕНИЕ

Геологическое описание Кроноцкого разреза игнимбритов

Прежде, чем подводить итоги необходимо добавить важный элемент фактуры. Понимание механизма образования кальдер требует детального рассмотрения данных об игнимбритах. Отсутствие в Узонской монографии описаний разрезов игнимбритов объясняется отсутствием обнажений в пределах игнимбритовых полей Узона. Хорошие обнажения игнимбритов располагаются вдоль побережья Кроноцкого залива. Они связаны с соседней кольцевой структурой Большого Семячика. Учитывая важность понимания специфики игнимбритовых извержений и теснейшей взаимосвязи их с кольцевыми вулканотектоническими структурами (кальдерами), необходимо дополнить характеристикой этого разреза описание приводимых в узонской монографии первичных данных.

Он был впервые описан В.И. Влодавцем (1958), а позднее Б. И. Пийпом (1961). Приводимое ниже описание является переложением данных, приводимых в последнем по времени и наиболее детальном их описании, В. С. Шеймовича (1979). Стил оригинального текста отредактирован, но в нем полностью сохранены геологические и петрографические описания. В то же время из оригинального текста исключены таблицы химических составов и кристаллооптических свойств, а также дискуссии с заведомо устаревшими точками зрения, к примеру, о лавовой природе игнимбритов. Всех интересующихся исходными данными отсылаем к оригиналу.

Игнимбриты Семячинского вулканического района изучались в обнажениях абразионного уступа Кроноцкого залива от поселка Жупаново на юге до устья р. Шумной - на севере (рис. 101).

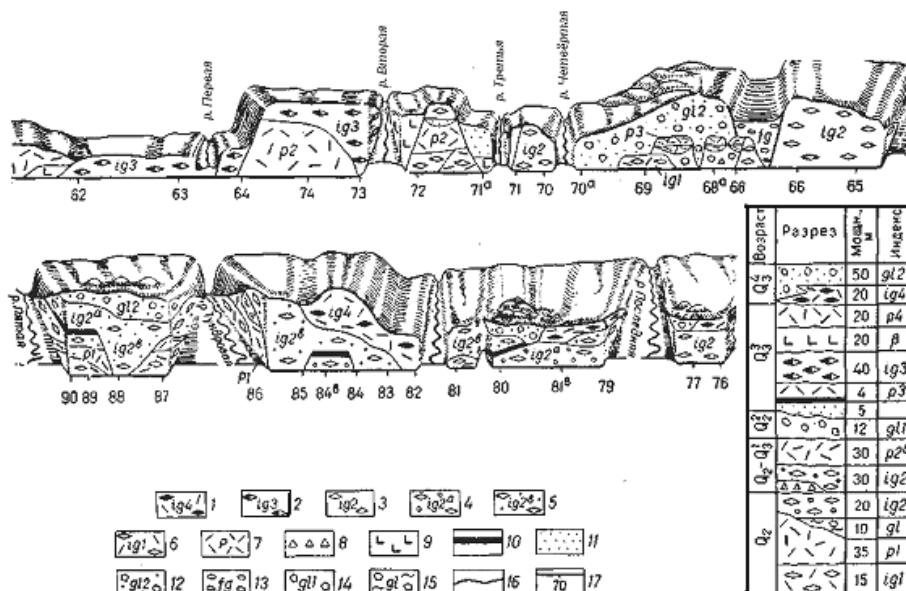


Рис. 101. Схема геологического строения и сводная колонка игнимбритовой толщи, обнажающейся в абразионном уступе Кроноцкого залива между пос. Жупаново и устьем р. Шумной (Шеймович и др., 1973)

1-6 - игнимбриты: 1- IV остывшей единицы, 2-III остывшей единицы, 3 - II остывшей единицы (не разделённой), 4 - нижнего горизонта остывшей единицы, 5 - верхнего горизонта II-остывшей единицы, 6 - I остывшей единицы; 7 - не спекшиеся пемзовые отложения; 8 -пемзовые лапилли; 9- базальты; 10 - погребённые почвы; 11 - флювиальные отложения; 12 - флювиогляциальные отложения II фазы позднеплейстоценового оледенения; 13-морена позднеплейстоценового оледенения; 14 - флювиогляциальные отложения I фазы позднеплейстоценового оледенения; 15 - морена среднеплейстоценового оледенения; 16 - геологические границы; 17 - точки наблюдения.

Игнимбритовая толща представляет собой совокупность нескольких остывших единиц. Она сформировалась в результате длительного многоэтапного развития вулканотектонической структуры Большого Семячика. Продукты кислого вулканизма были вынесены далеко за пределы центров извержения и аккумуляровались по периферии этой структуры. Схематизированный разрез игнимбритовой толщи снизу вверх выглядит следующим образом:

	Видимая мощность, м
1. I остывшая единица игнимбритов	до 15
2. Не спекшиеся пемзовые туфы пирокластических потоков	до 35
3. II сложная остывшая единица	до 30
4. Ледниковые и пирокластические отложения	до 7
5. III остывшая единица игнимбритов	до 40
6. Не спекшиеся пемзовые туфы пирокластических потоков	до 20
7. IV остывшая единица игнимбритов	до 20

Выделенные слои игнимбритовой толщи не прослеживаются по простирацию на значительные расстояния; в большинстве случаев на отдельном участке разреза отмечаются один или два его элемента. Строение толщи устанавливается лишь при самых тщательных полевых наблюдениях. Характеризуемые игнимбриты образуют «сложные остывшие единицы» в понимании Р. Л. Смита (1963).

Игнимбриты I остывшей единицы, подошва которых уходит под урез океана. Они встречаются в виде разрозненных выходов на всем протяжении абразионного уступа. Это светло-серые, почти белые при ярком солнечном освещении породы, с грубой призматической вертикальной отдельностью, с отсутствием макропризнаков флюктуационной текстуры, легкие, пористые, непрочные. Для них характерно незначительное содержание (до 10%) и небольшой размер (до 2 см) ксенолитов, полное отсутствие фьямме. В этих игнимбритах признаки какой-либо зональности, наблюдаемые непосредственно в обнажениях отсутствуют; максимальная видимая мощность их составляет 15 м.

При микроскопическом изучении четко устанавливаются пеплово-пемзовая, в значительной мере искаженная структура и псевдофлюидальная текстура витрокластического компонента, который почти полностью замещен микрофельзитовым агрегатом. Размер обломков пемз достигает 5 мм. По степени спекания игнимбриты относятся к слабо-умеренно-сваренным породам. Сильно сваренные разности отсутствуют или не обнажены. Показатель преломления пеплово-пемзовой массы равен 1,510. витрофельзитовый агрегат представлен полевым шпатом, тридимитом и кристобалитом. По-видимому, образование тонкокристаллического агрегата связано с кристаллизацией газовой фазы, а не только с девитрификацией, так как типичные для девитрификации сферолитовые лучистые структуры отсутствуют, кристаллический агрегат как бы заполняет все поровое пространство: полости пепловых рогулек, поры пемз. Очень характерно наличие более крупных кристаллов в сравнительно крупных порах пемз. Поэтому участки пемз, замещенных авто-пневматолитовыми минералами, часто представляют видимые невооруженным глазом линзовидные агрегаты прозрачных бесцветных полевых шпатов, тридимита и кристобалита. Очень редко в этих агрегатах отмечаются микровыделения биотита и пироксена. Размер таких фьяммеподобных линз достигает нескольких сантиметров. Степень перекристаллизации мезостаза колеблется от частичной, когда сохраняются незамещенными стенки пепловых и пемзовых обломков, до полной, когда стекло превращено в равномерный мелкозернистый агрегат бесцветных минералов, а витрокластическая масса сохраняется в линзовидных фьяммеподобных реликтах. Преобладающим минералом кристаллокластической фракции является плагиоклаз. Кварц отмечается в шлифах очень редко, возможно, в связи с выкрашиванием его при шлифовке.

Отложения пирокластических потоков. На размытой кровле игнимбритов I остывшей единицы залегает пачка белесовато-серых аггломератовых неспекшихся туфов пирокластических потоков. Туфы сложены песчано-алевритовым пемзовым материалом и обломками пемзы размером 15 - 20 см. Пемза белая, мелкопористая, с показателем преломления стекла от 1,496 до 1,505. Кроме пемзы, в туфах присутствует около 35% непемзовых обломков-эффузивов и туфов. Эти отложения зафиксированы на участке разреза между реками Пятой и Тундровой, где они достигают мощности 18 м, и в южной части разреза, где их максимальная мощность составляет 35 м. На остальной части побережья они отсутствуют, что, возможно, обусловлено приуроченностью потоков к древним долинам.

Игнимбриты II остывшей единицы ложатся на размытую поверхность подстилающих пемз, либо нижележащих игнимбритов. На подстилающих отложениях эта остывшая единица залегает с явным угловым несогласием. Эти игнимбриты имеют в прибрежной части ясно выраженный наклон под углом 5-7° к океану. Наклон имеет, вероятно, не тектоническое происхождение, а обусловлен наклоном подстилающей эрозионной поверхности и гравитационным изгибанием покрова при обрушении его фронтальной части в океан и проседанием рыхлых подстилающих отложений. Основанием для предположения о ненарушенном залегании II остывшей единицы является отсутствие тектонических дислокаций в подстилающих отложениях. Контакт этих игнимбритов с подстилающими отложениями вскрыт в обнажении северного борта долины р. Тундровой на берегу океана. Здесь они залегают на размытой поверхности неспекшихся отложений пирокластических потоков. В эрозионных карманах в подстилающих отложениях глубиной до 9 м наблюдается неслоистый и несортированный песчано-дресвянистый материал, содержащий оглаженные и оббитые обломки эффузивов, шлаков и игнимбритов размером до 0,5 м. Общий облик материала, наличие экзотических глыб дают основание предполагать, что это могут быть остатки древних ледниковых отложений, вынесенных по долине р. Тундровой. На грубообломочных отложениях наблюдаются черные вулканические пески и шлаки мощностью 0,7 м, верхние 2 см которых слабо гумусированы. Процесс образования почвы был прерван игнимбритообразующим извержением.

Характеризуемые игнимбриты образуют «сложную остывшую единицу» (в понимании Р. Л. Смита, 1963). В большинстве случаев (в устьях рек Шумной, Последней, Тундровой) она представляет собой единое слабо зональное тело и лишь в отдельных местах (например, в устье р. Пятой) можно наблюдать ее раздвоение, выражающееся в появлении среди игнимбритов горизонта неспекшейся тефры мощностью до 3 м. В этом месте оба покрова залегают согласно и имеют одинаковый наклон.

II-я остывшая единица имеет четко зональное строение. Основание ее сложено светло-бурым вулканическим песком мощностью 0,2 м, который выше постепенно переходит в черную весьма плотную породу (слабо спекшийся игнимбрит) с плитчатой отдельностью и землистым изломом. Мощность этой части единицы равна 0,25 м. Вышеупомянутые породы постепенно сменяются умеренно сваренными

игнимбритами мощностью м, в нижней части которых наблюдаются линзовидные включения шелковистой пемзы размером 3x0,5 см. Верхняя часть остывшей единицы представлена плотными крепкими темно-серыми породами со столбчатой и блоковой отдельностью, с флюидальной текстурой, обусловленной наличием светло-серых полосок длиной до нескольких десятков сантиметров и шириной 2 см. Кровля этих игнимбритов на наблюдавшихся участках размыта, а подошва вскрыта в единичных обнажениях; поэтому в большинстве случаев они могут быть опознаны как эффузивы. Лавоподобный облик этих пород усиливается благодаря небольшому количеству ксенолитов (не более 10%) и наличию весьма крупных кристаллокластов, которые на фоне мной гомогенизированной витрокластической массы создают полную иллюзию порфировой структуры. В. И. Влодавец (1958), наблюдавший эти породы между Седьмой и Восьмой речками, описывает их как андезито-дациты, очень близкие к дацитам. Однако, наличие пирокластических структур витрокластического мезостаза в спекшихся разновидностях этих пород и обнаруженные нами переходы от плотных сваренных разностей к рыхлым, почти несцементированным, не позволяют отнести эти породы к лавам. По количеству кристаллокластов игнимбиты II остывшей единицы относятся к порфирокластическим.

Пемзово-пепловая структура витрокластической массы легко устанавливается в слабоспекшихся и перекристаллизованных зонах игнимбритового покрова. В шлифах из обнажений, где скрыт нижний контакт II остывшей единицы, наблюдается постепенный переход от слабо искаженной пирокластической витрокластической структуры к полностью сваренному, почти неструктурному флюктуационному прозрачному стеклу. В зоне умеренного сваривания среди смятых пепловых и пемзовых частичек уже наблюдаются гомогенизированные участки, содержание которых в витрокластической компоненте выше по разрезу становится все более значительным. Сваренное гомогенизированное стекло имеет под микроскопом коричневый цвет. Оно разбито трещинами типа трещин усыхания на правильные многоугольники. Показатель преломления его колеблется от 1,500 до 1,505.

Для данных игнимбритов не характерны столь активная перекристаллизация стекла и выделение минералов газовой фазы, которые наблюдаются в нижележащей остывшей единице. Здесь часто отмечается выделение минералов газовой фазы в овальных пустотах и порах в зонах сильного сваривания. Правда, на отдельных участках игнимбритов пемзовые обломки полностью замещены агрегатом минералов из тридимита и полевого шпата. Иногда от стекла остаются редкие реликты, образующие в сечении шлифа своеобразные ячеи, заполненные агрегатом этих минералов. Продукты расстеклования имеют светлую окраску. Реликты стекла образуют фьяммеобразные выделения.

Ледниковые и пирокластические отложения отмечены в бухте Нерпичьей. Здесь на игнимбритах II остывшей единицы фиксируются два горизонта ледниковых отложений, разделенных почвенно-пирокластическим чехлом и пачкой неспекшихся пемзовых агломератовых туфов. Нижний горизонт представлен глыбово-щебнистыми отложениями с песчано-дресвянистым заполнителем. Обломки оглажены и оббиты. В небольшом количестве представлены хорошо окатанные валуны диаметром до 0,3 м. Мощность этих отложений равна 12 м. Местами они перекрыты аллювиальными галечниками и песками, выше которых залегает почвенно-пирокластический чехол. Последний перекрыт четырехметровым слоем неспекшихся пемзовых агломератовых туфов, окраска которых снизу вверх меняется от желтой через бурую до черной. Эти туфы содержат значительное количество крупных обломков пемзы размером 0,2-0,3 м. Показатель преломления стекла пемзы колеблется от 1,508 до 1,514. Верхний горизонт ледниковых отложений, в отличие от нижнего, имеет более мелкозернистый заполнитель и содержит меньше крупнообломочного материала, хотя размер отдельных глыб здесь возрастает до 1,5 м. В составе этого горизонта отмечаются и водно-ледниковые фации. Они отличаются лучшей окатанностью и неясной слоистостью галечно-валунного материала. Их мощность достигает 50 м.

Игнимбритам III остывшей единицы свойственна отчетливо выраженная зональность. В основании наблюдается рыхлая неспекшаяся фация игнимбритового покрова бурого цвета мощностью 0,5 м, переходящая постепенно в светло-бурую слабо спекшуюся разность игнимбритов с грубой плитчатой отдельностью. Они также постепенно сменяются красно-бурыми игнимбритами с хорошо выраженной текстурой фьямме. Отдельность в этой зоне призматическая и глыбовая. Отличительной макроскопической особенностью этой остывшей единицы являются многочисленные крупные (до 40 см) фьямме различного состава и наличие больших (до 15 см) ксенолитов базальтов, содержание которых достигает 20%.

В отличие от залегающих в основании разреза игнимбритов, данные породы характеризуются постоянным содержанием кристаллокластов и повышенным количеством ксенолитов.

Витрокластический компонент неоднороден и представлен двумя типами стекла - светлым и бурым. Последнее оставляет 10% объема пород III остывшей единицы. В неспекшейся зоне в основании покрова наблюдаются овальные пористые черные лапилли и бомбы диаметром от 1-2 до 15 см. Выше по разрезу они приобретают линзовидную форму, утрачивают пористость. Часто среди этих линз-фьямме, достигающих в длину 40 см, встречаются черные обсидиановые разновидности с показателем преломления стекла 1,525. Иногда в них наблюдаются переходы от пористых волокнистых периферических частей к массивному стеклу в центре линз. Вмещающий витрокластический мезостазис, показатель преломления которого равен 1,510, имеет пемзово-пемзовую структуру. Обломки пемз здесь крупные (до 10 см). В зоне спекания крупные обломки пемзы диагенезируются в меньшей степени, чем мелкая пемзово-пемзовая фракция, и часто образуют светлые фьямме с различной «пемзовой» текстурой.

Кристаллизация в игнимбритах выражается в девитрификации стекла и кристаллизации минералов газовой фазы. Продукты всех видов кристаллизации представлены микроагрегатом минералов из тридимита, кристобалита и полевого шпата. Девитрификация проявляется в замещении стекла микрофельзитовым агрегатом. Минералы газовой фазы кристаллизуются в овальных порах (0,1-0,2 мм) пемз, где образуются более крупные кристаллы, чем при девитрификации. На участках интенсивной перекристаллизации пемзово-пепловый мезостази́с и темные фьямме полностью замещаются микрофельзитом. При этом текстура фьямме исчезает (микрофельзит светлый). Темное стекло наблюдается здесь лишь в мелких реликтах. Кристаллокластические минералы имеют тот же состав и представлены в тех же количествах, что и в I и II остывших единицах. В одном из образцов данного покрова наблюдалось единичное зерно роговой обманки. Акцессорные минералы представлены апатитом, рудные - магнетитом.

Игнимбриты III остывшей единицы перекрываются неспекшимися агломератовыми пемзовыми туфами пирокластических потоков, которые, в свою очередь, у подножия вулканов группы Бол. Семячика подстилают морену II фазы позднеплейстоценового оледенения. Туфы обнажаются в южной части характеризуемого разреза, слагая целиком абразионный уступ на участке от лимана Семячик до р. Первой. В отличие от пемзовых агломератовых отложений, залегающих под III остывшей единицей, они характеризуются большей плотностью пемз, желтой окраской. В их разрезе четко различается несколько слоев различного гранулометрического состава, соответствующих разновременным порциям пемзового материала. В них развита вертикальная столбчатая отдельность. Наблюдаются следы фумарольных ходов, около которых туфы окрашены в розовый и красный цвета. Показатель преломления стекла пемз 1,500-1,505.

Игнимбриты IV остывшей единицы. Выходы пород IV остывшей единицы приурочены к северной части разреза, где она со значительным размывом залегает на игнимбритах II остывшей единицы. Мощность покрова не превышает первые метры. Протяженность его вдоль берега около 6 км. Для данной стывшей единицы характерны прямая зависимость ее мощности от рельефа подстилающей поверхности и интенсивная изменчивость физических свойств, как по мощности, так и по простиранию. Эта особенность выражается в появлении сильно сваренных разностей на участках повышенных мощностей покрова. Зоны сильного сваривания в абразионном уступе выделяются черными линзовидными участками протяженностью до 100 м при мощности до 5. Обычно на участках с небольшой мощностью в основании единицы залегает буровато-коричневый пемзово-пепловый несцементированный материал мощностью до 0,5 м. Выше этот материал постепенно уплотняется и обогащается пемзовой дресвой того же цвета (мощность замутненного слоя 0,3 м). С постепенным увеличением плотности эта разность переходит в слабо спекшиеся черные игнимбриты с тонкоплитчатой отдельностью. В них видны сплюснутые обломки черных пемз до 20 см длиной, ориентированные согласно подошве пласта. В устье р. Двойной, где первоначальная мощность игнимбритов достигала нескольких десятков метров, материал сварен более интенсивно. Здесь в основании покрова залегает светло-бурый тонкоплитчатый разность игнимбритов с текстурой фьямме. Местами они имеют веерообразную отдельность. Их мощность 1,5 м. Выше они сменяются черными массивными игнимбритами с призматической отдельностью и гомогенизированной витрокластической массой (мощность 2,5 м). Эти игнимбриты вверх по разрезу переходят в светло-бурые тонкоплитчатые разности, аналогичные породам основания (мощность 2 м). От всех нижележащих игнимбритов они отличаются равномерным минимальным содержанием кристаллокластов и максимальным — витрокластического компонента. Последний представляет собой пеплово-пемзовый материал, переходящий в зонах интенсивного спекания в темно-бурое, почти черное массивное или флюидальное стекло, показатель преломления которого колеблется от 1,505 до 1,516. Автопневматолитовая кристаллизация (девитрификация и кристаллизация газовой фазы) в данных игнимбритах почти не проявилась. Лишь на отдельных участках в пемзовых обломках кристаллизуются минералы газовой фазы.

Автопневматолитовая кристаллизация в игнимбритах Камчатки во время сваривания и остывания отмечается повсеместно. Наблюдается кристаллизация газовой фазы и девитрификация (Smith, 1960). Явления эти взаимосвязаны: девитрификация имела место главным образом там, где кристаллизация минералов газовой фазы максимальна. Кристаллизация находится в тесной зависимости от зональности спекания. В зонах максимального сваривания кристаллизация почти не наблюдается, на участках умеренного сваривания отмечается кристаллизация минералов в порах стекла. В зонах слабо-умеренного спекания в верхней части покрова наиболее интенсивно проявилась кристаллизация газовой фазы. Здесь автопневматолитовые минералы составляют до 30% объема породы. В кровле покрова интенсивное выделение газовой фазы вызывает почти полную девитрификацию стекла, замещение его фельзитом того же состава, что и агрегат минералов газовой фазы. В сложной игнимбритовой толще Кроноцкого залива, образованной в результате нескольких фаз извержения, наиболее измененными автопневматолитовой кристаллизацией оказываются нижние члены. По-видимому, это обусловлено тем, что первые порции игнимбритового расплава являются наиболее насыщенными летучими компонентами.

На этапе формирования игнимбритового покрова отмечены изменения в ксенолитах, претерпевших значительное расплавление. Механическое изменение ксенолита сводится к его расплющиванию в зонах спекания. К изменениям ксенолитов на этом этапе можно отнести выделение в их порах минералов газовой фазы кристаллизации. Состав первичного магматического расплава отражается в самых нижних покровах разрезов игнимбритовых толщ. Они наиболее кислые по составу и содержат минимальное количество

ксенолитов. Присутствие многочисленных, частично ассимилированных и вовсе не переработанных ксенолитов, состав которых крайне неравновесен к составу игнимбритового мезостазиса, может объясняться быстрым подъемом магматического расплава, а большие объемы извергнутого материала и трещинная тектоника в районе извержения говорят о значительной (сотни квадратных километров) площади поднимающегося к поверхности магматического фронта и мощных усилиях растяжения поверхности. Ксенолиты, их состав, количество, характер переработки отражают конкретные динамические условия игнибриитообразующих извержений. В состав игнимбритов входят кристаллокластический, витрокластический компоненты и ксенолиты.

Петрографические особенности собственно игнимбритов разных частей разреза имеют много общих черт. Кристаллокласты в исследованных игнимбритах представлены плагиоклазом, кварцем, ромбическим и моноклинным пироксенами, роговой обманкой и биотитом; рудный минерал представлен магнетитом, аксессуарный - апатитом, очень редко цирконом. Калиевых полевых шпатов среди кристаллокластов не отмечено. Однако в игнимбритах разных покровов указанный набор минералов наблюдается не полностью.

Плагиоклаз постоянно присутствующий и преобладающий минерал среди кристаллокластов, образует идиоморфные таблицы. Он всегда зонален и сдвойникован в большинстве случаев по одному закону: (010). Зональность ритмическая, центральные зоны очень слабо отличаются по составу от периферических. В большинстве случаев состав плагиоклаза соответствует андезинам № 35-45. Лишь очень редко отмечаются лабрадоры. Как правило, это корродированные ксенокристаллы - выплавки из эффузивных включений.

Другая разновидность линзовидных выделений является антиподом вышеописанного типа. Она встречается обычно в верхних частях игнимбритовых покровов, т. е. в зонах максимальной кристаллизации автопневматолитовых минералов и представляет собой линзовидные реликты не замененного микрофельзитовым агрегатом стекла среди полностью замещенной витрокластической массы. Размеры таких выделений невелики - до 2-3 см длиной. Фьяммеподобные образования обоих типов встречаются обычно совместно. Первые наблюдаются в нижних частях покрова, где вторичная кристаллизация проявилась относительно слабее, чем в верхних, в которых сохраняются лишь реликты незамещенного стекла.

Кристаллокластические минералы составляют около 10% объема игнимбритов, не отличающихся от нижележащих остывших единиц по составу минералов.

Витрокластический компонент различных покровов слабо отличается по показателю преломления, который колеблется в пределах 1,505-1,516. Кристаллокластический компонент в различных покровах представлен одним и тем же набором минералов, средние содержания которых примерно равны. Исключение составляет лишь кварц, характерный только для игнимбритов I остывшей единицы. Оптические свойства минералов кристаллокластического компонента также близки во всех остывших единицах.

Плагиоклаз большей частью формирует призматические таблицы длиной 1-3 мм, но встречается и в мелких остроугольных обломочках размером 0,1-0,3 мм. Это свежие кристаллы без признаков вторичных изменений с четкими двойниковыми швами. Крупные выделения зональны, мелкие идиоморфные кристаллы, как правило, не зональны. Иногда они несут следы вторичного катаклаза (дробление преобразованной витрокластической массой). Наряду с четкими и прямыми границами встречаются и коррозионные. Состав выделений плагиоклазов соответствует среднему андезину - кислому лабрадору. Вероятно, среди кристаллокластов присутствуют также кристаллы-ксенолиты, захваченные при извержении. Эти плагиоклазы отличаются более основным составом. Состав периферических каемок зональных зерен предполагаемых ксенолитов соответствует лабрадору. Они отличаются резко выраженной зональностью и ксеноморфным габитусом.

Кварц образует крупные, до 3 мм, овальные трещиноватые зерна; для него характерно мгновенное погасание. Пироксены, как правило, образуют мелкие зерна с призматическим сечением. Часто они наблюдаются в сростании с магнетитом. Ромбические пироксены отличаются слабым плеохроизмом и незначительным двупреломлением. $2\nu=53-60^\circ$. Моноклинные пироксены с заметным зеленоватым оттенком, иногда сдвойникованы, оптически положительны; $2\nu=+54$.

Для минералов кристаллокластов весьма характерны моно- и полиминеральные (плагиоклаз-пироксен-магнетитовые) гломеропорфировые сростания. Как правило, структура таких сростков идиоморфнозернистая, размеры 1-3 мм.

Аксессуарные минералы кроноцких игнимбритов представлены апатитом. Ксенолиты в игнимбритах представлены в основном обломками андезито-базальтов и базальтов с интерсертальной структурой и очень редко - обломками игнимбритов. Размеры наблюдаемых ксенолитов невелики, в шлифах не превышают обычно 1-2 мм и лишь иногда достигают 4 мм в длину. Большинство из этих включений переработано при вторичном преобразовании игнимбритов или же в предшествующий извержению этап. Ксенолиты очень редко имеют четкие контакты с преобразованной витрокластической массой и обломочные очертания. Чаше они не имеют резких границ, интенсивно ожелезнены, расплющены и образуют линзовидные включения - фьямме. Отмечается резорбция микролитов плагиоклазов в некоторых ксенолитах. По-видимому, это обломки, частично переработанные игнибриитообразующим расплавом в течение времени, предшествующего извержению.

Приведенные материалы иллюстрируют ритмичность в строении игнимбритовой толщи Кроноцкого залива. Ритмичность выражается в чередовании игнимбритовых покровов и слоев неспекшихся, преимущественно пемзовых, пирокластических отложений разделенных временными перерывами. Анализ взаимоотношений выделенных в данном разрезе остывших единиц показывает, что эти временные перерывы неравнозначны. Пемзовые отложения отделены от подстилающих игнимбритов эрозийными несогласиями. Временные перерывы между образованием пемз и игнимбритов были незначительными, так как на контактах между ними не отмечается следов длительного вулканического покоя: мощных почвенно-пирокластических чехлов, флювиальных осадков. Таковы взаимоотношения между слоями 1 и 2, 5 и 6 Кроноцкого разреза. Иной характер взаимоотношений игнимбритовых остывших единиц с подстилающими образованиями. Как правило, формированию игнимбритов предшествуют более длительные эрозийные процессы. В глубоких и широких эрозийных карманах в подстилающих вулканитах за время, предшествующее игнимбритообразованию, успевают отложиться достаточно мощные аллювиальные, флювиогляциальные и ледниковые накопления, образуется почвенно-пирокластический чехол. Таков характер нижнего контакта II остывшей единицы. Ледниковые и флювиальные осадки, отложившиеся до формирования III остывшей единицы, также свидетельствуют о значительном перерыве в интенсивной эксплозивной деятельности, который предшествовал образованию III остывшей единицы.

При рассмотрении строения игнимбритовой толщи правильнее говорить не о ритмичности в ее накоплении, выражающейся в чередовании отложений пемз и игнимбритов, а о фазности извержений, обусловивших накопление толщи. Фаза извержения представлена игнимбритообразующими эксплозиями и извержениями пемзовых пирокластических потоков. Строение поля игнимбритов показывает, что фаза извержения начинается игнимбритообразованием и заканчивается извержением пемз. Иногда наблюдаются отклонения от этой схемы, выражающиеся в отложении маломощных пемз и тефры в начале фазы эксплозивной деятельности, после чего формируются покровы игнимбритов и следующие после них отложения пемзовых пирокластических потоков. В разрезе рассматриваемой толщи можно выделить продукты, по крайней мере, четырех фаз крупных извержений. Первой фазе соответствуют отложения слоев 1 и 2, второй фазе, представленной в разрезе не полностью, отложения слоя 3, третьей - отложения слоев 5 и 6; четвертой фазе, также представленной в разрезе неполностью, отложения слоя 7. Принадлежность продуктов первой фазы к определенному этапу эволюции вулканотектонической структуры Бол. Семячика не установлена; игнимбриты второй фазы связаны с формированием кальдеры Бол. Семячика, продукты третьей и четвертой фаз образованы в результате внутрикальдерного этапа развития структуры (Мелекесцев и др., 1974). Все вулканиты, слагающие игнимбритовую толщу района Кроноцкого залива, относятся к известково-щелочному ряду и близки вулканическим сериям Лассен-Пик и Йеллоустонского парка. Толща игнимбритов в целом образует единый ряд пород от липаритов до слюдяных андезитов. Совокупность пород слабо пересыщена щелочами, по сравнению со среднемировыми эффузивами по Дэли, а по содержанию Са в плагиоклазах вполне соответствует им. Содержание щелочей всех вулканитов в целом колеблется от 6 до 7,5%, Na почти всегда преобладает над К. В породах с содержанием SiO₂ более 69% это преобладание выражено слабее, чем в более основных вулканитах.

Среди вулканитов различных фаз имеются петрохимические различия. Различия, обусловленные дифференциацией в ходе одного извержения, наблюдаются и среди вулканитов, одной фазы.

Игнимбриты первой фазы извержения принадлежат к сильно-тихоокеанскому ряду Ритмана с показателем родства от 1 до 1,4. Содержание SiO₂ в породах не опускается ниже 70% и колеблется от 70 до 75%; содержание щелочей колеблется от 6,0 до 7,30%; СаО от 1,84 до 2,78; MgO не превышает 0,94%. По Дэли, они близки среднемировым гранитам и липаритам, но отличаются резким преобладанием Na над К (*n* от 63 до 68) и слабой недосыщенностью щелочами. Пемзы этой фазы извержения сохраняют основные петрохимические особенности игнимбритов I остывшей единицы. Однако они более основны и менее щелочны. По количеству кристаллокластов игнимбриты II остывшей единицы относятся к порфирокластическим.

Для данных игнимбритов не характерны столь активная перекристаллизация стекла и выделение минералов газовой фазы, которые наблюдаются в нижележащей остывшей единице. Здесь часто отмечается выделение минералов газовой фазы в овальных пустотах и порах в зонах сильного сваривания. Правда, на отдельных участках игнимбритов пемзовые обломки полностью замещены агрегатом минералов из тридимита и полевого шпата. Иногда от стекла остаются редкие реликты, образующие в сечении шлифа своеобразные ячеи, заполненные агрегатом этих минералов. Продукты расстеклования имеют светлую окраску. Реликты стекла образуют фьяммеобразные выделения.

Существенным диагностическим признаком игнимбритовых покровов и слоев неспекшихся, преимущественно пемзовых, пирокластических отложений игнимбритов является наличие линз стекла, так называемых фьямме. В игнимбритах Камчатки выделяются четыре типа фьямме.

Фьямме первого типа имеют, состав аналогичный составу вмещающей витрокластической массы, образованные за счет смятия пемзовых обломков и лапиллей «первичной лавы», являются наиболее распространенными. Очень хорошо видно преобразование изометричных обломков пористых лав в лепешки стекла в обнажениях Кроноцкого залива (в устье р. Третьей, на мысу Ванькин Нос). Длина таких фьямме колеблется от нескольких миллиметров до десятков сантиметров. В обрывах Кроноцкого залива установлен переход пемзовых лапиллей и бомб в линзы фьямме от подошвы к зонам в центре покрова и от линз опять к

лапиллям и бомбам в кровле. Фьямме данного типа почти всегда темнее витрокластической массы. Показатели преломления стекол фьямме мезостазиса одинаковы.

Химический состав фьямме первого типа отличается от химического состава игнимбритов большим содержанием SiO_2 , суммой щелочей и меньшим содержанием $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$, CaO , Al_2O_3 в силу отсутствия в них ксенолитов и меньшего содержания вкрапленников. Во фьямме содержится не более 3% вкрапленников плагиоклаза и пироксенов, тогда как в игнимбрике наблюдается не менее 10% кристаллокластов андезина и моноклинного пироксена и около 5-7% ксенолитов базальтов. В игнимбриках мыса Ванькин Нос среди ксенолитов, наряду с андезитами и базальтами, отмечаются кварцсодержащие дациты. Здесь содержание SiO_2 во фьямме 63,86-89,0%, а в пепловом мезостазисе с минимальным количеством ксенолитов содержится 64,34% SiO_2 . Несмотря на равные содержания окиси кремния, соотношения щелочей, CaO , $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ в игнимбрике и фьямме здесь остаются такими же, как и в игнимбриках с резким преобладанием SiO_2 во фьямме.

Химический состав фьямме практически отражает состав витрокластического компонента игнимбрика. Если же в игнимбрике отсутствуют фьямме иного типа, то состав фьямме первого типа, по-видимому, наиболее близок составу магматического игнимбрикового расплава.

Фьямме второго типа отмечаются в покровах, слагающих обрывы Кроноцкого залива. Несмотря на то, что они образованы в результате гомогенизации участков, главным образом, витрокластического компонента, показатели преломления стекол фьямме и мезостазиса не всегда совпадают. В двух разных игнимбриковых покровах Кроноцкого залива наблюдаются различные соотношения показателей преломления стекол реоигнимбриков и пеплового слабо спекшегося мезостазиса. В самом верхнем покрове игнимбриковой толщи показатели преломления обоих стекол в одних случаях равны 1,515, в других случаях у стекла реоигнимбрика показатель равен 1,518, а показатель стекла мезостазиса 1,509.

В игнимбрике нижележащего покрова показатель преломления стекла реоигнимбрика равен 1,502, а пеплового мезостазиса 1,505. Вероятно, отличия показателей преломления стекла реоигнимбриков и слабоспекшегося мезостазиса объясняются составом мельчайших ксенолитов, которые ассимилируются вторичным стеклом в зонах максимального разогревания в покрове.

При сравнении данных химических анализов видно, что реоигнимбрики обогащены $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$, CaO , что, видимо, можно объяснить явлением гомогенизации в зонах сильного спекания, ассимиляцией в них мельчайших ксенолитов среднего и основного состава. Однако это объяснение не удовлетворяет сравнительно повышенному во фьямме содержанию щелочей и SiO_2 . Возможно, верхние части игнимбрикового покрова (зона реоигнимбриков) сформированы более кислыми и щелочными пирокластическими потоками, чем нижние, слабоспекшиеся части покрова. Если фьямме первого типа являются преобразованными лапиллями, то фьямме второго типа представляют собой продукт термической переработки всей пеплово-пемзовой массы, т. е. являются участками гомогенизации в игнимбриках: они встречаются в игнимбриковых покровах с четко проявившимися зонами сильного спекания и участками реоигнимбриков.

Помимо фьямме, в игнимбриках наблюдаются линзовидные фьяммеподобные выделения, образованные в результате автопневматолитических процессов. Они отмечаются в покровах с интенсивно проявившейся кристаллизацией минералов газовой фазы и девитрификацией стекла. Один из типов таких выделений встречается в виде светло-серых линз и полос, сложенных микро-мелкокристаллическим агрегатом минералов газовой фазы. Размеры этих выделений колеблются от долей миллиметра до нескольких десятков сантиметров в длину при толщине до 1-2 см. Они очень характерны для игнимбриков Кроноцкого залива. Состоят эти линзовидные выделения из кристобалита, тридимита и полевых шпатов. Они образуются в удлиненных пустотах в витрокластическом мезостазисе или же представляют собой полностью замещенные и перекристаллизованные смятые обломки пемзы. Пемзовые частицы вообще девитрифицируются в большей степени, чем пепловый материал. Именно такие выделения смятой девитрифицированной пемзы названы Малеевым (1969) в семьячинских игнимбриках «фьямме второго цвета». По составу они отличаются от игнимбрика резко повышенным содержанием SiO_2 (63,24% в игнимбрике, 68,44% «фьямме серого цвета») и щелочей (6,45% в игнимбрике и 6,44% в сером фьямме). Подобные выделения имеют явно пневматолитовый генезис, и их не следует объединять с фьямме.

Фьямме третьего типа являются линзовидные включения, образованные за счет переработки ксенолитов, главным образом эффузивов. Они встречены в игнимбриках со структурами интенсивного спекания. К подобным фьямме подходит название «фьямме-ксенолит». Размер этих включений невелик — не более 2 см в длину при толщине до 0,5 см. Граница с вмещающим витрокластическим мезостазисом в случае отсутствия стекла в основной массе ксенолита четкая. Такие фьямме-ксенолиты, представляющие собой темно-коричневые лепешки афировых микродолеритовых базальтов с флюидальной текстурой, наблюдались нами в обнажении мыса Ванькин Нос. Флюидальность субпараллельна длинной оси фьямме-ксенолита. Эти лепешки легко извлекаются из породы. Итак, образование фьямме третьего типа связано с переработкой ксенолитов, происходившей в результате их частичной ассимиляции (переплавления) в очаге, и достаточно высокотемпературными условиями в определенных зонах игнимбриковых покровов.

Фьямме четвертого типа представляют собой линзы стекла, резко отличающиеся по физическим и химическим свойствам от вмещающего их витрокластического компонента. Размеры их колеблются от нескольких миллиметров до десятков сантиметров в длину. Формируются такие фьямме из лапиллей и бомб

вспученного стекла, как и фьямме первого типа. Они представлены черным (под микроскопом - бурым) прозрачным стеклом более основного состава, чем светлый вмещающий мезостазис. Типичными образцами таких выделений являются черные фьямме в обрывах Кроноцкого залива в устье р. Второй. Показатель преломления их стекла колеблется в пределах 1,522-1,525, тогда как показатель преломления вмещающего мезостазиса варьирует от 1,505 до 1,515. Соотношения наиболее близки соотношениям химических составов фьямме второго типа и его слабо спекшегося витрокластического компонента. Образование фьямме различных типов и фьяммеподобных выделений нельзя объяснить без привлечения всего фактического материала о строении, составе и процессах в игнимбритовом покрове.

При исследовании всех компонентов игнимбрита, изучение фьямме проливает свет на генезис игнимбритообразующего расплава и механизм образования игнимбритов. В частности, наблюдения над формированием фьямме в результате преобразования лапиллей и бомб в игнимбритовых покровах Кроноцкого залива свидетельствуют об их пирокластической природе. Выделение и изучение фьямме первого типа важно в связи с тем, что их состав отражает состав игнимбритового расплава, не загрязненного ксенолитами. Наличие фьямме первого типа в массе пемзовидного стекла игнимбрита говорит о расслоении исходного расплава на две самостоятельные фазы, различающиеся по типу поведения воды входящей в стекло (во фьямме) и отделившейся от расплава (в пемзовидной массе) Фьямме второго типа образованы в результате неравномерного термического режима внутри покрова.

Ксенолиты в игнимбритах представлены двумя типами включений: литоксенолитами и кристаллоксенолитами. Содержание литоксенолитов колеблется во всех игнимбридах Камчатки от 1-2% до 60%, наиболее распространенные содержания 5-7%. Размеры их варьируют от долей миллиметра до десятков сантиметров. Наиболее часто встречаются включения размером до 2 см. Среди них преобладают обломки андезитового и базальтового состава. Породы глубоких уровней земной коры встречаются крайне редко. Состояние и особенности ксенолитов в игнимбритовой покрове являются результатом воздействия на них определенных условий, проявившихся главным образом в этап момента извержения и этап формирования игнимбритового покрова после его отложения. В ходе формирования игнимбритового покрова отмечены изменения в ксенолитах, претерпевших значительное расплавление. Механическое изменение ксенолита сводится к его расплющиванию в зонах спекания. К изменениям ксенолитов на этом этапе можно отнести выделение в их порах минералов газовой фазы кристаллизации. Состав первичного магматического расплава отражается в самых нижних покровах разрезов игнимбритовых толщ. Они наиболее кислые по составу и содержат минимальное количество ксенолитов. Присутствие многочисленных, частично ассимилированных и вовсе не переработанных ксенолитов, состав которых крайне неравновесен к составу игнимбритового мезостазиса, может объясняться быстрым подъемом магматического расплава, а большие объемы извергнутого материала и трещинная тектоника в районе извержения говорят о значительной площади (сотни квадратных километров) поднимающегося к поверхности магматического фронта и мощных усилиях растяжения поверхности. Ксенолиты, их состав, количество, характер переработки отражают конкретные динамические условия игнимбритообразующих извержений.

Мелкие андезитовые ксенолиты (менее 2 мм) с пилотакситовой структурой в зонах умеренного и сильного спекания, особенно в реоигнимбридах, где витрокластический компонент игнимбрита превращен в псевдовитрофир, значительно преобразованы. Присутствие в одних и тех же участках породы ксенолитов андезитов, в разной степени переработанных, позволяет проследить все стадии преобразования обломка лавы от частично переплавления до почти полной его ассимиляции. Ксенолиты, незначительно переработанные, сохраняют угловые очертания. Однако граница их с вмещающим витрокластическим мезостазисом четкая не по всему периметру его сечения в результате того, что в эндоконтакте ксенолита стекло андезита, разогретое в магматическом очаге и при вторичном разогреве в определенных зонах игнимбритового покрова до жидкого состояния, смешивается со стеклом игнимбритового мезостазиса.

Более сильная переработка ксенолита выражается в том, зона переплавления захватывает его глубокие части по поверхности обломка. Такой обломок был разогрет до такого состояния и расплющен внутрипластовым давлением, ксенолит как бы помещен в оболочку темного (более темного, чем стекло игнимбрита) стекла, в котором наблюдаются микролиты и порфиновые выделения, ориентированные вдоль границ линзы. Ориентировка кристаллов во внешней зоне ксенолита может не совпадать с ориентировкой внутри обломка. Такие обломки, собственно, и представляют собой фьямме-ксенолиты. Еще более высокая степень переработки выражается в полном расплавлении стекла ксенолита. В этих случаях обломки не имеют четких границ и представляют собой линзовидные выделения микролитов среди псевдовитрофировой массы. Переработанные мельчайшие (доли миллиметра) ксенолиты такого рода равномерно распределены в игнимбридах; их невозможно выделить из породы, так как они тесно взаимосвязаны с её витрокластическим мезостазисом. При детальном рассмотрении некоторых линз в поле черного смоляного стекла видны участки с интерсертальной и пилотакситовой основной массой, имеющие форму желваков. Длина таких линз достигает 30 см. Они имеют характерные очертания типа конского хвоста. Пийп (1961), рассматривая кроноцкие игнимбриды, упоминает о подобных включениях бурого стекла, в котором видны ясные следы расплавления старого базальтового материала; эти следы он считает признаками контаминации лавами основного состава игнимбритовой магмы.

В ходе первого этапа извержения происходит дробление вмещающих очаг пород, плавление и ассимиляция ксенолитов. Зафиксировано несколько стадий плавления ксенолитов: оплавление, появление каемок неполяризуемого материала, гомогенизация основной массы включений, плавление и выплавление их вкрапленников.

Несмотря на резкие различия химических составов игнимбритов и пород предшествующих фаз вулканизма, устанавливается близость некоторых их свойств, обусловленных, по-видимому, родственностью магм. По-видимому, причины сходства петрохимических особенностей рассматриваемых пород заключаются в сходстве расплавов игнимбритов различных вулканоструктур, а также, вероятно, и геологических условий, при которых образуются игнимбриды. Характерно постоянство содержания щелочей в игнимбритовых покровах, принадлежащих одной игнимбритовой толще, при довольно переменчивом составе других компонентов. Оно остается постоянным в игнимбридах разных фаз извержения кроноцкой игнимбритовой толщи. Игнимбриды - наиболее щелочные породы среди вулкаников одной фазы извержения, принадлежащих одному магматическому очагу. Вулканиды, образующиеся после игнимбридов, могут быть гораздо кислее игнимбридов. В циклической игнимбритовой толще Кроноцкого залива щелочность понижается в вулканидах одной фазы от 6-7% в игнимбридах до 5% в неспекшихся отложениях пирокластических потоков. При возобновлении игнимбридообразования содержание щелочей поднимается до прежнего уровня. Характерно постоянство содержания щелочей в игнимбритовых покровах, принадлежащих одной игнимбритовой толще, при переменчивом составе других компонентов. Оно остается постоянным в игнимбридах разных фаз извержения кроноцкой игнимбритовой толщи.

Резко повышенная щелочность игнимбридов, а также более высокое содержание летучих, по сравнению с вулканидами ранних и поздних фаз извержений, свидетельствуют о возможности ассимиляции воды, щелочей и летучих из вмещающей среды. Это предположение хорошо согласуется с данными, свидетельствующими, что возникновение кислых расплавов может происходить под воздействием теплового потока, источником которого являлся поднимавшийся к поверхности магматический очаг или колонна андезитобазальтовых стратовулканов (Villari, 1969; Волинец, 1973, Aуганци, Weebel, 1973). Однако совокупность рассмотренных фактов заставляет признать возможность обоих процессов при формировании игнимбритового расплава, который возникает на поздних стадиях эволюции базальтовой магмы при активных процессах ассимиляции.