

В.К.ПОПОВ, А.В.ГРЕБЕННИКОВ

Проблемы игнимбритового вулканизма

На материалах исследований игнимбригов Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса с привлечением литературных данных по современному эксплозивному вулканизму рассмотрены основные аспекты проблемы игнимбриговых извержений. Приведены новые данные по строению и вещественному составу игнимбригов Якутинской вулканоструктуры, сформированных 58—54 млн лет назад. Авторы пришли к выводу о том, что игнимбриги представляют отложения палящих лавин, связанных с катастрофическими эксплозивными извержениями из трещинных каналов. Состав и структурные особенности строения игнимбригов отражают состояние игнимбригообразующего расплава в магматической камере перед извержением. Быстрое опустошение магматических резервуаров приводит к образованию кальдер обрушения катмайского типа. Подчеркивается, что игнимбриговый вулканизм позднемелового и палеогенового периодов коррелирует с глобальными биологическими событиями в истории Земли.

Problems of the ignimbrite volcanism. V.K.POPOV, A.V.GREBENNIKOV (Far Eastern Geological Institute, FEBRAS, Vladivostok).

The main aspects of the problem of ignimbrite eruptions have been examined on the basis of research materials about the ignimbrites of the East — Sikhote-Alin volcanic belt and the literature data on modern explosive volcanism. The new data on ignimbrite matter composition in the Yakutinskaya volcanic structure formed 58—54 million years ago are given. Ignimbrites are concluded to represent depositions of glowing avalanches, associated with catastrophic explosions due to belching from fracture channels. Composition and structural features of ignimbrites reflect the state of ignimbrite melt in magma chamber before explosion. The fast devastation of magmatic reservoirs results in the formation of collapse calderas of the Katmai type. It is underlined that Late Cretaceous or Paleogene ignimbrite volcanism correlate with global biological events in Earth history.

6 июля 1912 г. на п-ове Аляска произошло извержение вулкана Катмай — одно из самых мощных и необычных в истории человечества. Свидетелями извержения оказались жители о-ва Кадьяк, расположенного в 160 км от вулкана, которые испытали на себе лишь отдаленные воздействия этого явления. Тем не менее и они были весьма потрясающими: внезапно наступившая темнота, адский грохот (взрывы при извержении были слышны за 1000 км от эпицентра) и непрерывные ослепительные вспышки электрических разрядов в пелене падающего пепла. Люди в панике устремились к стоявшему на рейде судну, которое из-за темноты смогло лишь на второй день покинуть опасное место. Мощность слоя вулканического пепла, выпавшего на Кадьяке, составила более 25 см.

Не будем останавливаться на описании виденного и пережитого очевидцами — об этом можно прочесть во многих научных и научно-популярных изданиях [7, 10,

ПОПОВ Владимир Константинович — кандидат геолого-минералогических наук, ГРЕБЕННИКОВ Андрей Владимирович (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток).

11; и др.]. Как справедливо заметил известный вулканолог Гарун Тазиев, в катастрофических извержениях многих интересуют не сам процесс, а его последствия, в первую очередь — количество жертв и размеры причиненного ущерба. Извержение Катмайского вулкана произошло в незаселенном районе, поэтому обошлось без значительного ущерба. Однако интенсивность и масштабы происшедшего свидетельствовали о его уникальности и вызвали чрезвычайный интерес. Отдаленность и труднодоступность этого района Аляски не позволили ученым сразу добраться до места извержения. Лишь в 1916 г. со второй попытки экспедиция Роберта Григгса достигла цели. С высокого перевала перед исследователями открылся необычный ландшафт — вершина г. Катмай исчезла: с отметки 2 400 м над ур.м. понизилась до 2050 м, на ее месте возникла эллиптической формы кальдера размером 4,3х3 км и глубиной 600 м, а расположенная к северо-западу от нее долина р. Укак длиной свыше 20 и шириной до 8 км была заполнена 100—200-метровым слоем вулканических образований, на плоской поверхности которого со свистом и шумом выбивались бесчисленные струи пара. Так была открыта знаменитая Долина Десяти Тысяч Дымов. Но самыми интересными и необычными для Григгса и его коллег, в первую очередь геолога Лоуренса Феннера, оказались формы залегания и петрографическая структура изверженных пород. Без сомнения, это были отложения пирокластического потока, мгновенно заполнившие долину. Но как это могло произойти? Здесь мнения исследователей разделились. Григгс предполагал, что туфы представляют собой верхушку прорвавшегося к дневной поверхности гранитного массива. Феннер предложил иной механизм появления пирокластического потока. По его мнению, магма, внедряясь между слоями осадочных пород в форме пластовой залежи или силла, вышла на поверхность в долине р. Укак, где с шумом и взрывами через трещины освободилась от выделявшихся газов и пепла. В результате взрыва сформировались отложения «песчаного потока», состоящего из осколков вулканического стекла, кристаллов и многочисленных обломков пемзы.

По расчетам Г.Куртиса, объем отложений «песчаного потока» (такое название дал Григгс) составил около 11 км³, и он образовался в течение одного—двух дней [15]! Г.Тазиев приводит цифру 15 км³ [11]. В 1935 г. новозеландский геолог П.Маршалл, изучая отложения пепловых потоков, слагающих «риолитовые плато» о-ва Северный в Новой Зеландии, установил их сходство с «песчаным потоком» Катмайского вулкана. Чтобы подчеркнуть одинаковый механизм происхождения таких пород, он назвал их игнимбритами (от латинского ignis — огонь и imber — ливень), что означает «породы огненного облака» [2, 6, 7].

Итальянские и французские геологи, посетившие Долину Десяти Тысяч Дымов под руководством Г.Тазиева в 1962—1963 гг., еще раз подтвердили, что здесь было извержение игнимбритов. Следовательно, на Аляске произошло уникальное по своей природе историческое извержение игнимбритов, выделенное впоследствии в самостоятельный тип вулканических извержений — катмайский. Таким образом, после исследований Маршалла впервые описанное Феннером извержение Катмайского вулкана приобрело характер эталона, позволяющего на примере его изучения попытаться раскрыть механизмы образования игнимбритов и особенности извержений игнимбритообразующих магм.

Дело в том, что такие породы покрывают огромные площади в Италии, Японии, Калифорнии, Новой Зеландии, на Камчатке и в других районах активного вулканизма. Кроме того, игнимбритовый вулканизм проявлялся и в более древние геологические эпохи в масштабах, на несколько порядков превышающих вулканизм кайнозойского периода. Вулканологи справедливо предполагают, что следующее

извержение игнимбритов может произойти в этих населенных районах и унести жизни тысяч людей. Вот почему после катмайского извержения во всем мире подверглись детальному изучению игнимбриты более ранних вулканических эпох. Пик активного изучения игнимбритового вулканизма в различных регионах Земли пришелся на 50—60-е годы нашего столетия.

Сегодня проблеме игнимбритов посвящено огромное число работ, в которых представлены самые различные, зачастую противоречивые взгляды не только на их происхождение, но и на отнесение типов вулканических пород к игнимбритам. Эти представления подробно изложены в ряде научных и научно-популярных изданий [6, 7, 10, 11; и др.] и справочниках по вулканологии [2; и др.].

Различные авторы термин игнимбрит применяют в двух аспектах — петрографическом (описательном) и генетическом (вулканологическом). Так, в работах А.Стейнера, В.И.Влодавца и других к игнимбритам относятся только определенные пирокластические отложения с характерной текстурой и структурой пород и зональным строением отдельных потоков. Другие исследователи (Маршалл, Ритман, Хили) вкладывали в термин генетический смысл, связывая его с определенным типом вулканических (игнимбритовых) извержений. В любом случае игнимбриты относятся к особому типу вулканических пород, в строении и структуре которых обнаруживаются черты как лавовых потоков, так и пирокластических отложений. Это хорошо проявляется в зональном строении игнимбритовых покровов, в классическом варианте подошва и кровля которых сложена рыхлыми или слабо спекшимися, а центральная часть — плотными спекшимися (сваренными) туфами. Для последних характерно спекание обломочного материала в монолитную лавоподобную массу, содержащую вкрапленники минералов, обломки пород и фьямме (от итал. *fiamma* — пламя) — линзовидные выделения черного вулканического стекла часто с расщепленными концами, напоминающими пламя (рис. 1). В центральной части потоков фьямме, часто сливаясь, образуют полосы и слои вулканического стекла. В некоторых разновидностях фьямме и прослойки вулканического стекла отсутствуют. В этом случае породы имеют однородный облик в кровле, подошве и центральной части покрова. В них сохраняется обломочная структура со

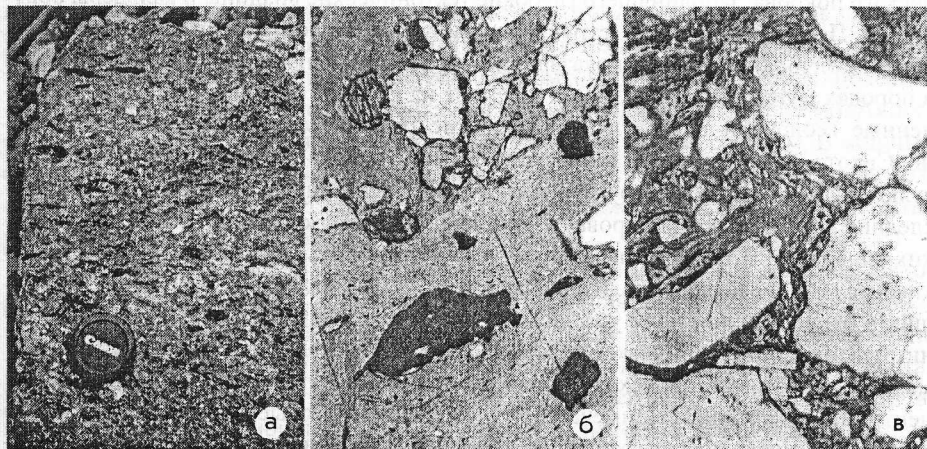


Рис. 1. Строение игнимбритового покрова: а — отчетливо видны угловатые обломки пород и фьямме вулканического стекла (черное); б — структура игнимбрита в шлифе. Хорошо видны обломки минералов в основной массе и фьямме (нижняя часть снимка); в — сваренный туф с псевдофлюидальной структурой основной массы, обусловленной сплавлением пепловых частиц

следами течения в цементирующей пепловой массе. Такие породы относят к сваренным (сплавившимся) туфам (англ. — welded tuff), туфолавам, игниспумитам. Нам приходилось наблюдать, как в игнимбритовых покровах большой мощности центральные части сложены такими сваренными туфами. В целом же в разрезах игнимбритовых плато игнимбриты (как петрографическая разновидность) часто занимают незначительный объем среди горизонтов пемз, брекчий, шлаков, неспекшихся пирокластических отложений, туфов и туфогенно-осадочных пород. Примером может служить описание разрезов плато Широкое Узон-Семячинского района Камчатки, выполненное В.Л.Леоновым и Е.А.Гриб [5].

Мощные толщи игнимбритов и сваренных туфов широко распространены не только в зонах современного вулканизма. Аналогичный, но значительно более мощный игнимбритовый вулканизм проявился в позднем мелу и раннем палеогене вдоль континентального обрамления Тихого океана от Чукотки до юга Китая. Эта линейная зона, в пределах которой была образована крупнейшая в истории Земли провинция магматических пород, выделена в 1957 г. Н.С.Шатским в самостоятельную структуру — Восточно-Азиатский вулканический пояс. Формирование пояса было связано с планетарными тектоническими и магматическими событиями, происходившими в позднем мезозое-кайнозое на границе двух взаимодействующих литосферных плит — азиатской континентальной и тихоокеанской океанической.

Восточно-Сихотэ-Алинский вулканический пояс представляет лишь звено великой вулканической «короны» Тихого океана. Он образует горный хребет, протянувшийся вдоль побережья Японского моря и Татарского пролива, сложенный разнообразными по составу вулканическими и прорывающими их интрузивными породами. Вулканизм этого периода характеризовался мощнейшими эксплозивными извержениями преимущественно кислой (гранитной) магмы, застывшей на земной поверхности в виде мощных (до 0,5—1 км) покровов игнимбритов и туфов риолитового состава, снивелировавших своей платообразной поверхностью неровности вулканического рельефа. Этими породами сложена основная часть вулканического пояса (рис. 2). На современном уровне эрозионного среза эффузивные образования сохранились в виде разрозненных полей, останцов некогда мощного вулканического покрова, заполнившего глубокие тектонические впадины и кальдеры обрушения. Поэтому борта этих структур имеют разломную природу. Действительно, бурение глубоких скважин показало, что эффузивы выполняют глубокие провалы в породах фундамента. Их днища залегают на глубине от 300 м до 1,5 км. Проведенные геологами палеовулканологические реконструкции в пределах Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса позволили выявить различные типы вулканотектонических структур и отдельных вулканических построек [14]. Последние значительно эродированы, они представляют корневые зоны вулканических аппаратов. В таких вулканоструктурах игнимбриты прорваны субвулканическими телами и дайками риолитов и гранитов — магматических расплавов, застывших в близповерхностных условиях. К рвущим телам также относятся дайки игнимбритов. Субвулканические тела гранитов отождествляют с магматическими камерами, из которых происходило извержение магмы, а дайки — с каналами или центрами извержений. Примечательно, что такие очаговые постройки с выходом на дневной поверхности гранитных пород слагают наиболее высокие изометричные вершины-купола главной водораздельной части Сихотэ-Алинского хребта и его боковых отрогов.

Как отмечалось, наиболее мощные вспышки эксплозивного игнимбритового вулканизма в Сихотэ-Алинском хребте проявились в позднем мелу (90—70 млн

лет назад) и палеогене (60—50 млн лет назад). Вулканические извержения этих периодов отличаются друг от друга масштабом, объемами и типами игнимбритовых пород. В чем их особенности?

Продукты вулканических извержений позднемелового времени выделены в приморскую серию сенонского возраста. Сваренные туфы приморской серии относятся к игнимбрикам «больших полей». Эффузивные породы покрывают пространство площадью 1500 км², а их объем оценивается в 2000 км³ [8]. Реальные объемы и площадь игнимбритовых полей, конечно, значительно превышали приводимые данные.

По химическому составу они относятся к риолитам и риодацитам, т.е. породам с высоким содержанием кремнезема. Характерными чертами этих очень плотных массивных пород лавоподобного облика являются темно-серые с зеленоватым оттенком тона окраски, большое количество обломков кристаллов кварца, полевого шпата, реже — темноцветных минералов и обломков пород (литокластов). Акцессорные минералы представлены апатитом, сфеном, цирконом, ортитом. В мощных обнажениях проявляется крупноглыбовая, реже столбчатая отдельность пород, особенно эффектная в береговых скалах вдоль побережья Японского моря от устья р. Милоградовка на юге до устья р. Амгу на севере.

Особенностями сваренных туфов приморской серии являются довольно однородный состав всей толщи, их лавоподобный облик, высокая степень сплавленности с перекристаллизацией пепловых частиц, а также вторичное преобразование пород. Последнее выражено в их региональном зеленокаменном изменении (метаморфизме) с появлением вторичных наложенных минералов — хлорита, эпидота, кварца. Вторая фаза мощного игнимбритового вулканизма проявилась в раннем палеогене (60—50 млн лет назад). Эффузивные породы этого периода выделяются в составе богопольского стратиграфического горизонта. Занимаемая площадь и объем игнимбритов и сваренных туфов богопольского времени вдвое меньше объема пород приморской серии.

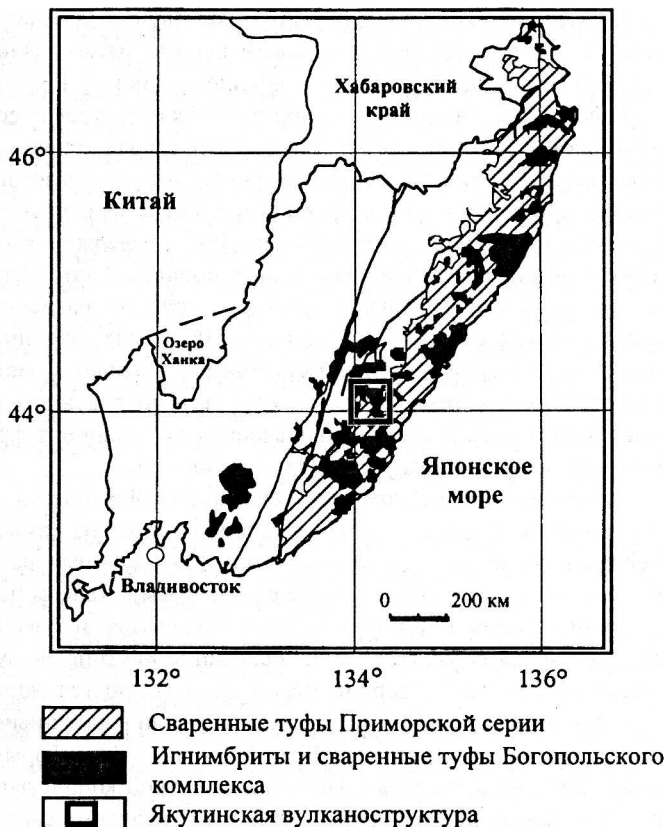


Рис. 2. Арсалы проявления игнимбритового вулканизма Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса

По химическому и минеральному составу они отвечают риолитам и риодацитам, т.е. аналогичны позднемеловым игнимбрикам. Различия же проявляются в структурно-петрографических особенностях пород. Главные из них — появление покровов «классических» игнимбриков (как петрографического типа) с горизонтами и фьямме вулканического стекла, более слабая степень спекания сваренных туфов, отсутствие признаков метаморфического преобразования пород и более выраженная приуроченность к вулканоструктурам кальдерного типа. По кольцевым разломам, ограничивающим кальдеры, после извержения игнимбриков внедрялись гранитные расплавы из неглубоко залегающих магматических камер. Установлено, что кальдеры в вертикальной проекции отражают размеры залегающих под ними магматических очагов [6]. Очевидно, что после кульминационных извержений происходило обрушение игнимбриковой покрывки в частично опустошенный в процессе извержения магматический очаг и последующее выжимание остаточной гранитной магмы. Этим можно объяснить и сохранность фрагментов полей игнимбриков на современном уровне эрозионного среза.

Ярким примером таких построек является Якутинская вулканоструктура. Если вам случится подниматься по шоссе на самый высокий в Приморье Горнореченский перевал, расположенный между Кавалеро и Дальнегорском, обратите внимание на светло-серые с розоватым оттенком породы. Они появляются с правой стороны крутого дорожного серпантина и тянутся до самого перевала. Это спекшиеся туфы, слагающие основание Якутинской вулканоструктуры. С перевала на северной стороне перед вами откроется живописнейшая панорама Якут-Горы с ее крутыми скалистыми уступами и каменными осыпями, обрамляющими вершину с отметкой 1328 м. Восточнее Якут-Горы, разделенная глубокой седловиной, возвышается г. Нежданка с острой конической вершиной, взметнувшейся на почти километровую высоту. Вертикальные скалистые уступы Якут-Горы и являются теми игнимбриками «классического» типа, которые, переславившись со сваренными туфами риолитов, дают наиболее полный (более 600 м мощности) разрез отложений палящих лавин палеогенового периода. Гора Нежданка представляет собой небольшой экструзивный купол, сложенный вулканическими стеклами (перлитами) и флюидалными лавами риолитов.

Игнимбрики Якутинской вулканоструктуры являются своеобразным эталонным геологическим объектом для изучения игнимбрикового вулканизма Сихотэ-Алиня. Действительно, при детальном изучении геологического строения и вещественного состава слагающих ее пород были получены новые данные, которые впервые позволили раскрыть некоторые особенности игнимбрикового вулканизма этого периода. Остановимся на наиболее интересных из них.

Изотопным Rb/Sr-методом впервые были получены точные датировки абсолютного возраста игнимбриков Якутинской структуры [16]. Последовательные извержения игнимбриков, слагающих Якут-Гору (рис. 3), происходили $59,7 \pm 1,6$ — $54,8 \pm 0,04$ млн лет назад и завершились $52,9 \pm 1,0$ млн лет назад внедрением экструзивного тела кислых вулканических стекол (перлитов) г. Нежданка.

В геологическом разрезе Якут-горы было выделено пять игнимбриковых покровов. Установлена и изучена зональность их строения — от слабо спекшихся туфов в подошве и кровле до сваренных туфов и игнимбриков (как классического петрографического типа пород, содержащих фьямме) в центральной части. Все это указывает на их образование из раскаленного материала палящей лавины, сопровождающееся спеканием и свариванием раскаленных обломков пород и пепловых частиц. При этом более высокотемпературные обрывки дегазирующей расплава при быстром падении температуры превращались в вулканическое стекло. Послед-

нее, являясь весьма вязким и пластичным в еще подвижном и горячем потоке, приобрело уплощенную форму и разрывалось с образованием фьямме.

По химическому и микроэлементному составу туфы, игнимбриты и вулканические стекла относятся к риолитам калиевого ряда. Химический и минеральный состав последовательно налегающих игнимбритов также закономерно меняется. Игнимбриты 1-го, 3-го, 5-го горизонтов характеризуются относительно низким содержанием SiO_2 , но более высоким FeO , MgO , TiO_2 , CaO и Sr , а игнимбриты 2-го и 4-го — относительно высоким SiO_2 , но низким содержанием термофильных элементов. Химический состав минералов-вкрапленников аналогичным образом меняется от умеренножелезистых биотита, роговой обманки, клино- и ортопироксена в «низкокремнеземистых» до чисто железистых минералов — фаялита и геденбергита и высокожелезистых роговой обманки и биотита в «высококремнеземистых» игнимбритах. Вариации первоначальных изотопных отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ также отражают неоднородность игнимбритовых расплавов, варьируя от (0,70659—0,70724) в игнимбритах 1-го и 3-го потоков до (0,70738—0,70810) в игнимбритах 2-го и 4-го потоков.

Полученные данные позволяют предположить, что составы игнимбритов отражают расслоенность магматической камеры в момент извержения. В таком случае первые порции игнимбриитообразующего кислого расплава, поступавшие из верхней части вскрытого очага, соответствуют игнимбритам 2-го и 4-го потоков. На это указывают и высокие изотопные отношения в них $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, обусловленные, возможно, процессами фракционирования изотопов стронция при активной коровой ассимиляции расплава в головной части магматического очага [16]. Игнимбриты же 1-го, 3-го и 5-го потоков сложены магматическим веществом, поступившим при извержении менее дифференцированной (остаточной) порции магмы из нижней более высокотемпературной части очаговой камеры. Полученные по различным геотермометрам значения температур кристаллизации вкрапленников в вулканическом стекле из игнимбритов 1-го, 3-го и 5-го (770 °C) и игнимбритов 2-го и 4-го потоков (710 °C) свидетельствуют в пользу данного предположения.

Если вы заметили, для более логичного обоснования в изученном разрезе игнимбритов Якут-Горы не хватает самого нижнего (нулевого) игнимбритового по-

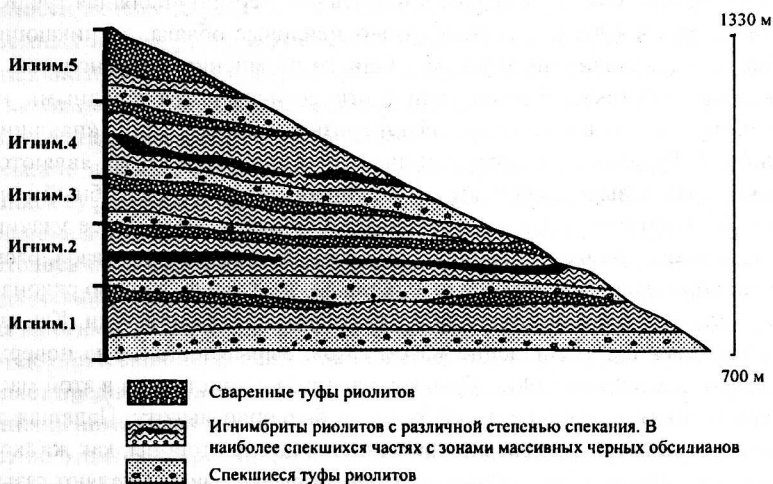


Рис. 3. Схема последовательности отложения игнимбритовых извержений Якутинской вулканоструктуры (в разрезе Якут-горы)

тока. Здесь можно выдвинуть два предположения: или мы пропустили этот горизонт, или извержение игнимбритов произошло из очага недифференцированной кислой магмы.

Аналогичные вариации вещественного состава отмечены во всех крупнейших провинциях кайнозойских платоигнимбритов Новой Зеландии, Индонезии, Северной Америки и др. Попытки увязать изменения состава с извержением из одной или разных магматических камер предпринимались ранее другими исследователями. Существенный вклад в разработку этой проблемы внесли, пожалуй, работы Р.Смита, основанные на изучении Бандельер Туфов (Bandelier Tuff) Нью-Мехико, США [19]. Он увязал вариации состава игнимбритовых потоков с разноглубинными магматическими камерами, а также установил зависимость размеров кальдер обрушения от объема и глубины заложения магматических очагов.

По нашим данным, близповерхностный магматический очаг Якутинской вулкано-структуры располагался на глубине 5—7 км. При этом кристаллизация гранитов, прорывающих толщу игнимбритов, происходила на глубине 3—4 км. Общий объем игнимбритов Якутинской структуры по приблизительным расчетам составляет порядка 400 км³. Сопоставление их с объемом игнимбритов Катмайского извержения (15 км³) позволяет представить масштабы катастрофических извержений игнимбритов такого типа. При этом естественным образом возникает вопрос о механизме таких извержений. Имеющиеся в настоящее время взгляды на образование игнимбритов, в частности на механизм игнимбритовых извержений, весьма различны и часто противоречивы [2, 6, 7, 10; и др.]. Как справедливо подчеркивает известный российский вулканолог И.В.Луцицкий, «наибольшие затруднения в проблеме происхождения игнимбритов и туфолов определяются тем, что никто до сего времени не мог непосредственно наблюдать образование игнимбритов или туфолов в процессе современных извержений. Вулкан Катмай был посещен много позднее, чем произошло его известное извержение» [6, с.286]. Не вдаваясь в исторический аспект развития представлений о происхождении игнимбритов, многократно изложенный в многочисленных работах по вулканологии [2, 6, 7, 10; и др.], отметим лишь, что результаты изучения игнимбритов Сихотэ—Алиня позволяют согласиться с основными выводами А.Ритмана [7], который предпринял попытку объяснить механизм игнимбритовых извержений исходя из представлений о переливающихся палящих тучах. Следует пояснить что, термин «палящая туча», предложенный Лякруа в 1906 г., означает газово-пепловые облака, возникающие над движущимися раскаленными лавинами. Однако по мнению вулканологов, испытывавших воздействие таких облаков, тучи фактически являются холодными, не способными ничего опалить и не заслуживают грозного наименования «палящие» [2]. По мнению Г.С.Горшкова, настоящими палящими тучами, по сути, являются волны направленных взрывов, несущие раскаленный материал, способный погубить все живое [3]. Поэтому многие вулканологи чаще используют более удачный, на наш взгляд, термин «палящая лавина». Эта огненная смесь пепла, газов, раскаленных частиц, обрывков лавы и захваченных пород, несущаяся вниз по склонам вулкана с огромной скоростью, имеет вид пылающего облака или тучи. Как считает Ритман, существенное уменьшение массы газов, вырывающихся на поверхность при извержении, а также обилие обрывков расплава и кристаллов в этой массе делают невозможным подъем палящей тучи на большую высоту. Палящая туча в этом случае устремляется не вверх, а растекается во все стороны, как жидкость. В такой переливающейся из жерла палящей туче обрывки лавы выделяют газы и поэтому поддерживаются во взвешенном состоянии, образуя исключительно подвижную и быстро растекающуюся суспензию. Именно из подобного рода туч,

считает Ритман, возникают типичные игнимбриды со спекшимися обрывками стекла и кристаллами. Такое представление о механизме образования игнимбридов приводит его к выводу о том, что образование этим путем больших масс игнимбридов в ограниченное время путем извержения через центральный канал невозможно. Он предполагает, что крупные игнимбридовые потоки возникают при трещинных извержениях. Такие трещины могут быть кольцевыми, опоясывающими крупные вулканические постройки. На Камчатке в бортах кальдеры Узон один из авторов наблюдал подобные трещинные дайковые тела игнимбридов.

Мы также считаем, что игнимбриды образованы из пирокластических потоков типа палящих лавин, выброшенных в виде очень подвижной газовой-жидкой эмульсии, состоящей из обрывков и капель расплава, частиц раскаленного пепла и другого пирокластического материала. Расширяющиеся газы придают потоку высокую подвижность. Эти породы представляют собой спекшиеся или сваренные в различной степени отложения особых потоков или пирокластических лавин, в противоположность потокам лав или рыхлым (без признаков спекания) пирокластическим образованиям. Очевидно, правы Ритман и Маршалл в том, что только протяженные трещины, одновременно извергавшие огромные объемы вспенивавшейся лавы, могли служить питающими каналами очень больших потоков. Газово-жидкая (расплавная), насыщенная кристаллами минералов, пеплом и редкими обломками пород, магматическая эмульсия палящей лавиной растекалась с огромной скоростью на десятки и сотни километров без разрыва сплошности извергнутого материала и, застыв, сохраняла своеобразный лавоидный облик. Именно такие породы получили еще названия туфолов и игниспумитов. Образование игнимбридов или сваренных туфов определяется не только объемом, но и реологическими свойствами расплава, количественным соотношением и составом основных компонентов палящей лавины. В данном случае подразумеваются химический состав ювенильного магматического материала (андезитовый, дацитовый, риолитовый), а следовательно, его вязкость, определяющая скорость выделения газов из вспененного расплава, температурный режим извержения и остывания лавины.

Сваренные туфы риолитов приморской серии образовались, очевидно, из отложений палящих лавин с очень большим объемом одновременно извергнутого материала, способного мгновенно растечься на огромной площади и без разрыва сплошности консолидироваться в лавоподобном состоянии. Среди полей большеобъемных игнимбридов встречаются интрузивные (рвущие) тела игнимбридов (кристаллоигнимбридов) в форме субвулканических и трещинных дайковых тел. Следовательно, поступающая на земную поверхность вскипевшая магма уже имела все свойства игнимбридового расплава.

Палящие лавины, связанные с образованием «классических» игнимбридов и спекшихся туфов риолитов богопольского комплекса, были не столь объемны и газонасыщенны и несли черты пирокластических лавин.

Хотелось бы обратить внимание еще на один интересный вопрос о глубине залегания магматических очагов, дающих игнимбридообразующие расплавы. Отмеченная многими геологами закономерность образования крупных кальдер или вулканотектонических депрессий с наиболее крупными извержениями игнимбридов позволяет предполагать неглубокое залегание магматических резервуаров. Данные изучения игнимбридов и гранитов Якутинской вулканоструктуры тоже свидетельствуют об этом. Это предположение находит подтверждение в изотопном составе игнимбридов. Проведенные Б.Г.Покровским и О.Н.Волынцом [9] определения изотопного состава кислорода в игнимбридах, образованных в результате крупнейших извержений Курило-Камчатской дуги в районах кальдер Узон, Малый Семейчик,

Ксудач, Горелый, Уксичан, Теклетунуп, установили в них аномально низкие величины $\delta^{18}\text{O}$, составляющие 2,4—5,4 ‰. Они предположили, что такой необычный изотопный состав кислорода свидетельствует о насыщении расплава водой, поступающей из окружающих магматическую камеру пород. Это возможно только на небольших глубинах. С перенасыщенностью расплава водой авторы связывают и крайне высокую эксплозивность, и «необычные физические свойства» игнимбритовых магм. Недавно на страницах «Nature» [17] появилось сообщение О.Мельника и Р.Спаркса о том, что они, изучая механику процесса извержения, пришли к необычному на первый взгляд выводу о возможности катастрофического усиления извержения из-за уменьшения давления в очаге. При этом резкие колебания уровня активности магмы связаны с ее кристаллизацией в процессе подъема и изменением ее реологических свойств.

Возвращаясь к описанию Катмайского извержения игнимбритов, следует отметить, что надежды вулканологов на его изучение как эталонного объекта, способного внести ясность в эту проблему, в целом оправдались. Исследуя пирокластические отложения Катмайского извержения, Гарун Тазиев в 1963 г. пришел к заключению, что вывод Г.С.Горшкова [4] о направленном взрыве из вершины Катмайского вулкана не соответствует действительности. Здесь необходимо пояснить, что Г.С.Горшков был непосредственным свидетелем знаменитого извержения вулкана Безымянного на Камчатке в 1956 г., вершина которого была снесена направленным взрывом. Образовавшийся при этом пирокластический поток заполнил долину р. Сухая Хапица на расстояние 18 км. На поверхности этого потока также действовали многочисленные фумаролы. После взрыва в вершинном кратере вырос экструзивный андезитовый купол. После детального изучения этого извержения Горшков отождествил его с извержением в Долине Десяти Тысяч Дымов. Гарун Тазиев пришел к другому выводу, считая что «миллиарды кубометров пепла, засыпавших дно долины, вылетели не из кратера, зияющего на вершине Катмая, а из новых трещин, шедших с востока на запад» [11, с.101]. На склонах вулкана совершенно отсутствовали следы истечения палящего потока, в то же время игнимбристы сложены хорошо спекшимися частицами лавы. Пирокластический же поток вулкана Безымянного состоял из хаотических глыб и обломков без малейших признаков спекания. Тазиев предположил, что трещины открылись у основания вулкана, простираясь по долине р.Укак. Насыщенная газами магма выплеснулась, вызвав колоссальный взрыв энергией мгновенно выделившихся газов, раздробивших ее на мельчайшие пепловые частички и обломки пористой пемзы. Последующее более спокойное выжимание вязких расплавов с незначительными газовыми выбросами сосредоточилось в середине магмоподводящей трещины. Не способные быстро растекаться вязкие лавы постепенно наслаивались друг на друга. Так образовался купол Новарупта. По времени и характеру образования с ним сравним экструзивный купол г. Нежданка в Якутинской структуре.

Выброс за 2—3 дня такого огромного (15 км^3) количества породы опорожнил близкий по объему магматический резервуар, находящийся неглубоко под Катмаем. В него и обрушился свод вулканической вершины, образовав кальдеру, так поразившую членов экспедиции Григгса. В кальдере Катмая, в отличие от активного и сегодня экструзивного купола в кратере вулкана Безымянного, образовалось озеро дождевой и талой воды.

Таким образом, первоначальное предположение Григгса об извержении туфов из множества трещин, возникших под напором проникшего к земной поверхности гранитного батолита, относительно трещинного извержения оказалось верным. А вот быстрое уменьшение количества фумарол (Г.Тазиев в 1963 г. заметил лишь несколько слабых струек теплого водяного пара) указывает на отсутствие под остыва-

ющим игнимбритовым покровом гранитного батолита, горячие эксгальции которого, по его выражению, «не иссякли бы и за тысячи лет». Действительно, известная во всем мире кальдера Узон на Камчатке, образованная 40 тыс. лет назад [13] в результате обрушения после извержений узонских платоигнимбритов, и сегодня поражает воображение своей гидротермальной активностью, вызванной нахождением на небольшой глубине очага гранитной магмы.

В заключение приведем еще одно обстоятельство, касающееся проблемы игнимбритов. Камчатские вулканологи, обобщив материалы по крупнейшим эксплозивным извержениям на Камчатке за последние 10 тыс. лет, разбили их на кальдерообразующие, субкальдерные и извержения стратовулканов [1]. Игнимбриты оказались связаны только с кальдерообразующими извержениями (игнимбриты кальдер Курильское озеро—Ильинский, Карымского вулкана, вулкана Ксудач). Все крупнейшие катастрофические извержения, случившиеся в исторический период, относятся к субкальдерным или извержениям стратовулканов. Это всем известные Везувий, Тамбора, Кракатау, Мон-Пеле, Шивелуч, Безымянный, Сент-Хеленс и др. Единственное исключение составило извержение Катмайского вулкана — слабой тени вулканических титанов Сихотэ—Алиня и всего Тихоокеанского побережья, продолжительная активная деятельность которых, возможно, и приводила к экологическим катастрофам Земли в конце мелового периода и палеогене.

Авторы глубоко признательны к.г.-м.н. С.О.Максимову за плодотворное обсуждение данной проблемы и добрые советы, а также д.г.-м.н. С.А.Щека за критический обзор рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брайцева О.А., Мяслесцев И.В., Пономарева В.В. и др. Геохронология и параметры крупнейших эксплозивных извержений на Камчатке за последние 10 000 лет // Статья в INTERNET: http://intra.rfbr.ru/pub/vestnik/V1_97/MELEKES.ru.html.
2. Влодавец В.И. Справочник по вулканологии. М.: Наука, 1984. 340 с.
3. Горшков Г.С. К вопросу о классификации некоторых типов взрывных извержений // Вопр. вулканизма. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С.31—38.
4. Горшков Г.С., Богоявленская Г.Е. Вулкан Безымянный и особенности его последнего извержения 1955—1956 гг. М.: Наука, 1965. 171 с.
5. Лсонов В.Л., Гриб Е.А. Кальдеры и игнимбриты Узон—Семячического района, Камчатка: новые данные по результатам изучения разрезов плато Широкок // Вулканология и сейсмология. 1998. № 3. С. 41—59.
6. Лучицкий И.В. Основы палсовулканологии. Т. 1. Современные вулканы. М.: Наука, 1971. 480 с.
7. Макдональд Г.А. Вулканы. М.: Мир, 1975. 431 с.
8. Михайлов В.А. Магматизм вулкано-тектонических структур южной части Восточно-Сихотэ—Алинского вулканического пояса. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. 172 с.
9. Покровский Б.Г., Волынец О.Н. Геохимия изотопов кислорода Курило—Камчатской дуги // Петрология. 1999. № 3. С. 227—251.
10. Раст Х. Вулканы и вулканизм. М.: Мир, 1982. 344 с.
11. Тазисв Г. Запах ссры. М.: Мысль, 1980. 222 с.
12. Туфолавы и игнимбриты // Тр. Лаб. вулканологии. Вып 20. М.: изд-во АН СССР, 1961. 228 с.
13. Флоренский И.В. К вопросу о возрасте кальдер Узон и Крашенинникова // Вулканология и сейсмология. 1984. № 1. С.102—106.
14. Фремд Г.М., Рыбалко В.И. Вулкано-тектонические структуры Восточно-Сихотэ—Алинского вулканического пояса. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1972. 150 с.
15. Curtis G.H. The stratigraphy of the ejecta from the 1912 eruption of Mount Katmai and Novarupta, Alaska // Geol. Soc. Amer. Mem. 1968. Vol.116. P.153—210.
16. Grebennikov A.V. The ignimbrites of the Yakutinskaya Volcanic depression, Primorye, Russia // Anatomy and Textures of Ore-Bearing Granitoids of Sikhote Alin (Primorye Region, Russia) and Related Mineralization. Potsdam, 1998. P.25—31.
17. McInik O., Sparks R.S.J. Nonlinear dynamics of lava dome extrusion // Nature. 1999. Vol.402. P.37—41.
18. Noble D.C., Hedge C.E. Sr/Sr variations within individual ash-flow sheets, U.S. // Geol. Surv. Prof. Pap. 1969. Vol. 605—C. P.133—139.
19. Smith R. Ash-flow magmatism // Geol. Soc. Amer. Spcc. Papcr. 1979. Vol.180. P.5—27.