

## НАУЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И.И. ГУЩЕНКО

Летом 1951 г. Игорь Иванович, будучи студентом 4-го курса Московского областного педагогического института, вместе с Набоко Софьей Ивановной проводил наблюдения режимов гейзеров в Долине гейзеров, открытой в 1941 году Устиновой Татьяной Ивановной. Кроме того, они изучали проявления фумарольной и сольфатарной деятельности, расположенного в этом районе вулкана Кихпиньча. По существу, это и стало началом научной деятельности Игоря Ивановича.

В то время в этом педагогическом учреждении вел преподавательскую деятельность Влодавец Владимир Иванович, который сменил на посту директора Лаборатории вулканологии АН СССР академика Заварицкого А.Н., и некоторые студенты этого вуза принимались сюда на работу. Игорь Иванович был первым из них.

В тот период для работы на Камчатской вулканологической станции было привлечено несколько молодых учёных разных геологических специальностей. Они в будущем сыграли выдающуюся роль в исследовании вулканов Курило-Камчатского вулканического пояса. Вспоминает Богоявленская Генриетта Евгеньевна (см. К 75-ЛЕТИЮ КАМЧАТСКОЙ ВУЛКАНОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ИМ. Ф.Ю. ЛЕВИНСОНА-ЛЕССИНГА (заметки участника событий)):

«Наша смена оказалась наиболее представительной за все время существования станции. Начальником станции, сменившим Б.И. Пийпа на этом посту, был Г.С. Горшков.

Он возглавил коллектив из 30 сотрудников. Среди них была группа геологов - И.И. Гущенко, Г.Е. Богоявленская, В.Н. Борисова (несколько позже к нам присоединились А.Н. Сирин, К.М. Тимербаева), геохимик О.Н. Борисов, геофизики П.И. Токарев, О.М. Алыпина и лаборанты сейсмостанции И.Я. Свистунов и С.В. Попов. В химической лаборатории работали три научных сотрудника - И.И. Товарова, Л.А. Башарина, Н.Н. Класова (делались полные силикатные анализы, анализ вулканических газов, возгонов и др. работы.). Функционировала фотолаборатория. На станции была прекрасная библиотека, которая постоянно пополнялась иностранной периодикой. Имелись свои транспортные средства - были выючные лошади летом и три нарты ездовых собак в качестве зимнего вида транспорта. Станция была своим особым интересным миром, в котором даже молодым сотрудникам было интересно работать и нескучно жить. Большая и хорошо охраняемая территория была зеленым оазисом, островком леса в пос. Ключи. Население пос. Ключи относилось с большим уважением к традициям станции и ее обитателям.

Этот коллектив научных сотрудников вместе с его руководителем Г.С. Горшковым увлеченно работал по различным направлениям вулканологической науки. Г.С. Горшков всегда внимательно следил за новыми исследованиями, энергично внедрял новые методы в вулканологию. Так мантийный характер лав как основного, так и андезитового состава был подтвержден данными изотопных отношений стронция и результатами экспериментальных работ. Позднее Г.С. Горшков разработал новаторскую теорию вулканизма, согласно которой состав верхних частей мантии под океанами, континентами, островными дугами и океаническими хребтами различен; эти различия проявляются в существовании 2-х классов пород - континентального и океанического. Талант истинного ученого часто бывает вознагражден новыми неожиданными событиями, позволяющими в очередной раз проявить выдающиеся способности в их понимании. В октябре 1955 г., после 1000-летнего периода покоя, ожил вулкан Безымянный. Эруптивный цикл продолжается до настоящего времени. 30 марта 1956 г. на вулкане произошел катастрофический направленный взрыв, уничтоживший вершину вулкана и его восточный склон. Впервые детально изученный нами на вулкане Безымянном, новый тип извержения и особый характер отложений, был выделен Г.С. Горшковым в специальный тип «направленного взрыва, сопровождающегося разрушением постройки вулкана, формированием обломочных лавин, крупных пирокластических потоков, пирокластических волн». Характер этого извержения был удивительным образом подтвержден 24 года спустя при извержении вулкана Сент-Хеленс (США) в мае 1980 г. Кульминационная стадия этих извержений имела одинаковые характеристики и таким образом была подтверждена справедливость выделения нового типа извержений. По-видимому, это был расцвет научной жизни на Камчатской вулканологической станции. Практически все исследования, которые проводили сотрудники станции, заканчивались серьезными публикациями и защитой кандидатских диссертаций. Кроме вулканов Ключевской группы и Шивелуча, были детально изучены геологическое строение, петрография и геохимия многих вулканов Камчатки. Впервые даны количественные оценки геологического и энергетического эффекта крупных извержений и катастрофических взрывов (Г.С. Горшков, Г.Е. Богоявленская). Впервые использованы энергетические характеристики воздушных волн для определения магнитуды извержения, определены закономерности формирования экструзивных куполов, пирокластических потоков, пирокластических волн, обломочных лавин (Г.С. Горшков, Г.Е. Богоявленская), лавовых потоков, шлаковых конусов; получены температуры и данные вязкости базальта (В.И. Влодавец, Б.И. Пийп, С.И. Набоко); изучались процессы формирования пирокластики и перенос металлов пеплами (И.И. Гущенко), закономерности переноса металлов летучими, их концентрация и рассеяние (С.И. Набоко, Л.А. Башарина). Получила развитие теория направленных взрывов (Г.С. Горшков). С 1954 г. на станции начал работать сейсмолог П.И. Токарев, под руководством которого совершенствовалась аппаратура и открылись две дополнительные сейсмические станции возле Ключевской группы вулканов (ст. Козыревская в 1958 г. и ст. Апахончич в 1960 г.). Работы П.И. Токарева были направлены на разработку методов прогноза вулканических извержений. В 1959, 1960 и 1961 гг. им были предсказаны

извержения на растущем куполе Новом вулкана Безымянного. Позднее, в 1964 г., было предсказано катастрофическое извержение вулкана Шивелуч, в 1975 г. - Большое трещинное Толбачинское извержение, а в 1983 г. - побочное извержение Ключевского вулкана, названное «Предсказанным».

В начале своей работы на вулканологической станции Игорь Иванович сосредоточил своё внимание на изучении уникального по красоте вулкана Кроноцкого (рис. 2). Однако, по каким-то иным соображениям он полностью сосредоточил своё внимание на вулканах Северной группы: Шивелуче и Ключевских вулканах (рис. 3). К тому времени вышла в печати фундаментальная работа Бориса Ивановича Пийпа, в которой описывались вулканы Северной группы, кроме Шивелуча, который был изучен А.Меняйловым. Это была хорошая база для продолжения исследований механизмов извержений этих уникальных объектов, разгадка которых, в основном, была связана с изучением пеплов - продуктов взрывной активности.



Рис. 2 . Кроноцкий вулкан – вид с Кроноцкого озера. Фото В. Подтабачного



Рис. 3. Ключевская сопка – видны многочисленные побочные конуса. Фото В. Подтабачного.

Многолетние, кропотливые, трудоёмкие полевые, лабораторные и литературные исследования проведенные Игорём Ивановичем увенчались публикацией монографической работы «Пеплы Северной Камчатки и условия их образования», которая пользовалась и пользуется широкой популярностью среди геологов разных направлений, и защитой диссертации на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук.

Суть этого исследования заключалась в следующем (Зеленов К.К. Вулканы, как источник рудообразующих компонентов осадочных толщ, 1972, сс.18-26).

«Верхуген (Verhoogen, 1951), математически рассчитал кинетику процесса формирования пепла при выделении пузырей пара в подымающейся к поверхности остывающей жидкой магме и дал первое обоснование представлению о механизме пеплообразования. Ему удалось показать, что характер выделения «воды» (пара и других летучих), а стало быть, и вулканических проявлений зависит не только от вязкости и состава лавы. Пеплообразование, как выяснил Верхуген, является, кроме того, еще и функцией многих дополнительных факторов — таких, как исходное содержание воды в магме, степень пересыщения магмы паром и скорость, с которой это пересыщение нарастает, глубина очага, температура лавы и т. п. Взаимодействие всех этих факторов приводит к появлению в жидкой лаве определенного количества газовых пузырей на единицу объема лавы в единицу времени, вызывающему распыление жидкой магмы и соответствующий вулканический взрыв.

Однако расчёты Верхугена, как показал И. И. Гущенко (1965), правомерны лишь для небольшой части взрывов вулканического типа. Дело в том, что наличие предполагаемого Верхугеном процесса пеплообразования неминуемо должно было бы привести к увеличению парциального давления кислорода в канале вулкана при усилении извержения. Проверка этого положения оказалась возможной на основании работы Д. Кеннеди, установившего, что соотношение  $\text{FeO} : \text{Fe}_2\text{O}_3$  в нагретых лавах и кислород в газовой фазе подчиняются принципу Ле-Шателье, и находятся во взаимном равновесии. Анализ соотношения  $\text{FeO}$  к  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в пепловом материале современных извержений вулканов Ключевского и Безымянного, проведенный И. И. Гущенко, показал, что при увеличении силы извержения парциальное давление кислорода в канале вулкана падает. Кроме того, предложенный Верхугеном механизм образования ювенильных пеплов оказался не в состоянии объяснить мощных резургентных взрывов, приводящих к дроблению в пепел значительных объемов древних пород вулканической постройки. Оказалось также, что несоизмеримо с расчетами Верхугена возрастает и общее давление, возникающее при взрывах в канале вулкана. Исходя из существующих в природе кратерных форм, образованных в результате одноактного взрыва, можно считать, что давления, создаваемые магматическим расплавом с включенной в него газовой фазой, очень малы и не превышают статических нагрузок порядка  $100\text{—}300 \text{ кг/см}^2$ , в то время как максимальная величина давлений при катастрофических взрывах в канале вулкана может достигать  $4500 \text{ кг/см}^2$ . И. И. Гущенко (1965) высказал предположение, что изменение парциального давления кислорода в канале вулкана при усилении его эруптивной деятельности вызвано сдвигами, происходящими в газовой фазе за счет окислительно-восстановительных реакций взрывного типа.

На основании данных Н. Н. Семенова (1958), И. И. Гущенко разделил вулканические газы на следующие группы: 1) взрывоспособные активные газовые компоненты, к которым относятся  $\text{H}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{F}_2$ ,  $\text{Br}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ; 2) активные катализаторы взрывоспособных смесей, энергично увеличивающие скорость реакций (до 1000 раз), главным образом  $\text{H}_2\text{O}$ ; 3) прореагировавшие взрывчатые смеси с малой энергией активации, являющиеся частично взрывоспособными и частично катализаторами; 4) невзрывоспособные инертные газы — отрицательные катализаторы  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ; 5) частичные катализаторы  $\text{S}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ .

Теоретически природа взрыва та же самая, что и горение. Решающим фактором является скорость протекающих реакций, а способность газов к самовзрыванию и вынужденному взрыву определяется величиной энергии активации. Подавляющая часть этих реакций с участием вулканических газов характеризуется экзотермичностью. В случае вынужденного взрыва нижняя граница взрываемости определяется по правилу Ле-Шателье и для рассматриваемых компонентов колеблется в пределах от 1 до 15,5 объемных процентов. Условия взрываемости вулканических газов определяются размерами пузырьков газа в расплаве. При давлениях, приближающихся к атмосферному, цепной механизм реакции возможен, если диаметр пузырьков газа в расплаве равен нескольким миллиметрам (для цепной реакции  $\text{H}_2 + \text{Cl}_2$  диаметр пузырька должен быть не менее 4 мм). При давлениях, измеряемых десятками атмосфер, минимальный диаметр должен быть не менее десятых долей миллиметра. Нижний температурный предел взрываемости газов в ряде случаев опускается ниже  $300^\circ$  (при  $P = 1 \text{ атм}$ ), а средняя температурная граница нижнего предела взрываемости составляет около  $650^\circ$ .

Хотя нижняя граница взрыва газов определяется в отдельных случаях несколькими объемными процентами к общему содержанию газов, в условиях вынужденного взрыва большое значение приобретает сам характер этого возбуждения. По этой причине взрыв в устойчивой форме происходит лишь в случае, когда взрывоспособные компоненты составляют 7% газовой фазы. Средняя величина энергии теплового эффекта реакции составляет 30 ккал/моль. При содержании инертных примесей газов в 67% общая величина теплового эффекта равна 10 ккал/моль. Считая, что при цепном механизме реакции, характеризующем изотермичностью, теплота реакции выражает собой энергию взрыва, можно допустить, что 1 моль газовой фазы (считая и инертные примеси) дает в среднем энергию взрыва, равную  $10 \text{ ккал/моль}$ , или  $0,418 \cdot 10^{12}$  эрг.

При объемном весе пород  $0,5\text{—}2,4$  и удельном весе  $2,5$  возможный предел концентрации газовой фазы составляет от 4 до 80% всего объема породы. Поскольку в ходе вулканического процесса первыми выделяются из расплава газы с большой энергией активации, можно считать, что резургентные пеплы являются продуктом взаимодействия взрывных газовых смесей с твердыми участками канала вулкана.

Проверка концентраций взрывоспособных газовых смесей, необходимых для взрыва, была проведена И. И. Гущенко на материале катастрофического извержения вулкана Безымянного в 1956 г. Для кульминационного взрыва 3 марта 1956 г. было определено содержание хлора в водно-растворимых вытяжках продуктов этого взрыва. Оказалось, что 1 млрд. г. продуктов извержения соответствует 0,76 млн. г хлора. Спустя 1,5 года после интенсивной десорбции в пирокластическом материале этого взрыва все еще имелось 0,5 млн. г хлора на 1 млрд. т отложившегося пирокластического материала. Приведенные данные

позволяют утверждать, что хлор достиг таких концентраций, что даже одно взаимодействие его с водородом ( $H + Cl_2$ ) могло привести к кульминационному взрыву».

Из этого высказывания Зеленова К.К., можно сделать вывод о выдающемся достижении в исследовании теории механизма вулканических извержений, сделанным Игорём Ивановичем.

Кроме того, Игорём Ивановичем сделан большой вклад в литогенез областей современного вулканизма и сопредельные акватории. В своём докладе на 2-м вулканологическом совещании в Петропавловске на Камчатке в 1964 году он пришёл к выводу, что «Ежегодно в мире происходит несколько десятков извержений. Из этого количества только 8—10 извержений фиксируются в вулканологической литературе, с приблизительной оценкой типа, интенсивности извержения и количества извергнутого материала. Слабые, чаще всего не фиксируемые, извержения относятся обычно к I—III категориям (по классификации Тсуя и Моримото, 1963 г.). Лишь некоторые из них, с количеством извергнутого материала до 1 млн. м<sup>3</sup>, отмечены в вулканологических источниках. Из отмечаемых извержений большинство приходится на III—IV категории (100 тыс. м<sup>3</sup> - 1 млрд. м<sup>3</sup>). Крупные извержения VII категории и выше, с количеством извергнутого материала более 1 км<sup>3</sup>, происходят сравнительно редко (раз в 2-3 года). Именно при таких извержениях формируется основная масса пирокластического материала. Из всех форм вулканической активности наиболее часто встречается эруптивная. С ней обычно связано поступление на поверхность литосферы пирокластического материала и сопутствующей ему газовой составляющей. В общем балансе извергнутого вулканами мира материала на долю пирокластических продуктов приходится свыше 50% (по данным Заппера — 84%). Это составляет в среднем 2-4 млрд. т пирокластического материала, рассеиваемого по всей поверхности земного шара за год. Из этого количества около 400 млн. т в год образуется в результате деятельности вулканов Курило-Камчатской зоны». (Гущенко И.И., 1971. Типы эруптивной деятельности и их фациальные аналоги в современных и недавних отложениях).

Особое значение он уделял процессам отделения вулканических газов и адсорбционным свойствам пеплов. Так, например он отмечал, что «Фиксируемым в стратифицированных разрезах пирокластическим отложениям сопутствовала газовая составляющая, которая в продуктах современных эруптивных извержений занимает очень большое место. Количество извергнутого пирокластического материала и газа находится в соотношениях от 40:1 до 1:3.

Пирокластические отложения несут обычно следы взаимодействия с газовой составляющей эруптивного процесса. Вследствие этого взаимодействия и соответствующих термодинамических условий пепловые частицы приобретают определенные морфологические черты. В несколько меньшей мере это оказывает влияние на формы отложений агломератовых и грязевых потоков.

Важным следствием этого взаимодействия является то, что пепловой материал, благодаря адсорбции, своей дисперсной поверхностью улавливает значительные количества малоустойчивых анионов и катионов, заимствуемых из газовой составляющей эруптивного процесса. Общее количество сорбированных анионов ( $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $F^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ) может достигать 1,5%, катионов — до 4—5% общего веса пеплов. Образовавшаяся благодаря адсорбции поверхностная пленка пеплов крайне неустойчива и легко подвержена действию процессов выщелачивания. В пепловом материале современных извержений вулканско-плинианского и плинианского типов содержание избыточных сорбированных компонентов — таких, как Fe, Ti, Mn и др., может составлять 40% и более их общего содержания в исходной горной породе» (там же).

Впоследствии Игорь Иванович полностью сосредоточился на сборе материалов извержений вулканов нашей планеты. Результатом этой трудоёмкой и кропотливой работы вместе с его женой Людмилой Леонидовной явился каталог «Извержения вулканов мира», вышедший из печати в 1979 году. В нем даются краткие сведения о 933 действующих, потенциально действующих и находящихся в сольфатарной стадии вулканах мира. Приводятся координаты, абсолютные и относительные высоты вулканов, размеры кратеров и кальдер. Отмечен состав пород вулканов и продуктов исторических извержений. Для каждого вулкана и извержения дано структурно-тектоническое положение в градусах к местному меридиану. Даны характеристики исторических извержений, начиная с 1500 г. до н.э. Приводятся оценки количества извергнутого материала, масштаба извержений, периода покоя перед извержением. Работа иллюстрирована картой вулканов мира и алфавитным указателем названий вулканов и действующих кратеров.

В основе этой книги была огромная база данных об активности вулканов Земли в голоценовое время четвертичного периода, которая использовалась Игорём Ивановичем для их сравнительного анализа. Он с увлечением разрабатывал концепцию периодичности этого процесса. В оборот он ввёл единицу вулканической активности (ЕВА).