

УДК 551.435.627+528.74

## ПРОИСХОЖДЕНИЕ КРАТЕРА ТРОИЦКОГО И ОЗЕРА ЗЕЛЕНОГО НА ВУЛКАНЕ МАЛЫЙ СЕМЯЧИК (КАМЧАТКА)

*Свирид И.Ю., Шевченко А.В.*

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,  
Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга*

*Научный руководитель: д.г.-м.н. Мелекесцев И.В.*

Представлены результаты исследования кратера Троицкого (вулкан Малый Семячик), полученные на основе анализа картографических и аэрофотографических материалов, а также сведений из предыдущих работ. Показано, что сведения об эксплозивной активности Малого Семячика в 1945–1946 гг. не имеют достаточных оснований. Кратерное озеро возникло в начале 1940-х гг. в уже существующем кратере, а сам кратер был сформирован скорее в результате просадочных и провальных процессов, а не эксплозивных, как считалось ранее.

*Ключевые слова: вулкан Малый Семячик, кратерное озеро, морфология кратера.*

### ВВЕДЕНИЕ

Вулкан Малый Семячик относится к Карымской группе вулканов, расположенной на юге центрального участка Восточного вулканического пояса Камчатки. Его хребтообразная постройка образована слиянием трех последовательно формировавшихся с северо-востока на юго-запад вулканических конусов. Современная активность Малого Семячика сосредоточена в кратере Троицкого – южном кратере его юго-западного конуса и сводится, в основном, к сольфатарно-фумарольной деятельности и термальной разгрузке через кратерное озеро.

Кратерное озеро вулкана Малый Семячик, вследствие его необычного цвета получившее название оз. Зеленое, является одним из самых кислых в мире вулканических озёр.

## ВОЗНИКНОВЕНИЕ КРАТЕРНОГО ОЗЕРА

Кратер Троицкого и оз. Зеленое были открыты и описаны вулканологами В.И. Влодавцем, А.И. Морозовым и В.Д. Троицким (в честь которого и был назван кратер) в конце августа 1946 г. [2]. Ими же было сформулировано предположение, что и кратер Троицкого, и оз. Зеленое образовались в результате извержения 1945–1946 гг.

Данное предположение принимается за исходное в большинстве последующих работ по вулкану Малый Семячик, но, по нашему мнению, оно недостаточно обосновано. С целью более детальной постановки проблемы приведем цитату:

«Из рассказа местного охотника Ф.М. Григорьева, который был на вершине вулкана последний раз 12 июля 1942 г., следует, что в то время на месте кратера Троицкого было небольшое углубление, заполненное снегом, а в Среднем кратере росла трава. Об отсутствии признаков вулканической активности говорит и карта Камчатки, составленная по работам 1943 г., где Малый Семячик назван горой. Всё это позволяет утверждать, что извержение кратера Троицкого произошло в самое недавнее время.

Следы этого извержения в виде свежих покровов из лапилли и уничтоженной растительности наблюдаются достаточно широко ...» [2, стр. 27].

При внимательном рассмотрении упомянутой В.И. Влодавцем карты, фрагмент которой представлен на рис. 1, мы можем видеть, что морфология вулкана, отображенная на ней, не имеет существенных отличий от современной, но вместе с тем, отметки высотных точек значительно и бессистемно отличаются от высотных отметок на более поздних картах Малого Семячика. Это несоответствие может быть объяснено неточностью метода дифференцированных процессов, который применялся в то время при составлении карт.

Высотная отметка точки, расположенной на гребне кратера Среднего, имеет значение 1421 м (приблизительно соответствующее современному), а высотная отметка, изображенная на дне кратера Троицкого, равна 1368.6 м. То есть, исходя из данной карты, разница между ними составляет всего 52.4 м, чего быть не может, так как кратер Троицкого изображен условными знаками глубокого обрыва, начинающегося от уровня дна открытой части кратера Среднего, глубина которого уже не менее 100 м (легко определяется по горизонталям, сечение которых 20 м).

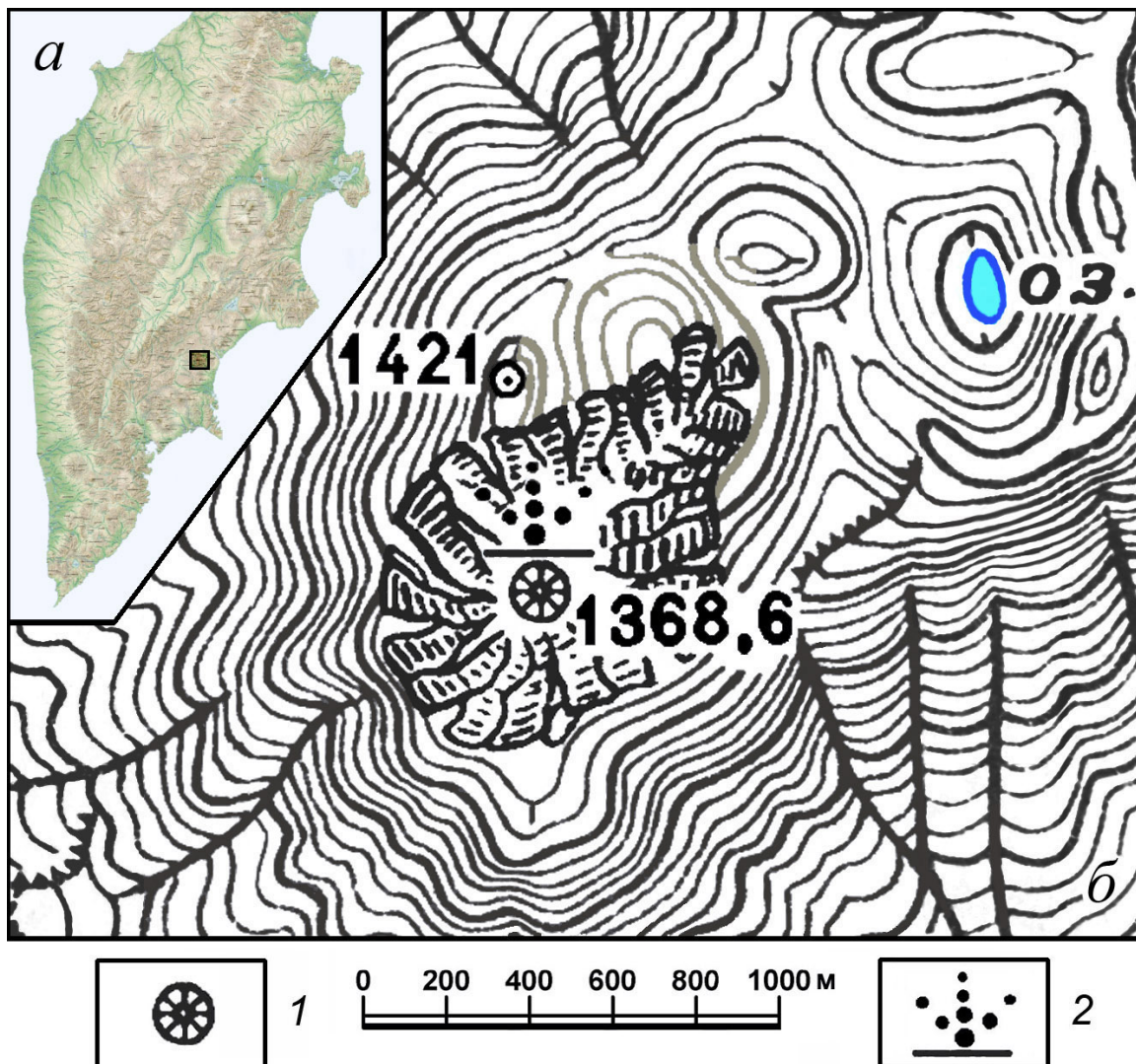


Рис. 1. *a* – положение вулкана Малый Семьячик на территории п-ова Камчатка;  
*б* – фрагмент карты вулкана Малый Семьячик 1943 г.:  
 1 – вулканический кратер, 2 – фумарола.  
 Кратер Троицкого выделен более темным цветом, кратер Средний – светлым. На дне Восточного кратера небольшое озеро.

Кроме того, нетрудно заметить, что высотная отметка, указанная на дне кратера (1368.6 м) не имеет точки, к которой она должна относиться. Если эта отметка не является результатом грубой ошибки, то, скорее всего, она относится не ко дну кратера, а к его восточному гребню, так как ее значение приблизительно соответствует значениям высот этого гребня на современных картах. Таким образом, исходя из анализа карты, можно утверждать, что во время ее составления (1943 г.) кратер Троицкого уже имел значительную глубину.

Совершенно очевидно, что если бы в период с 1943 по 1946 гг. действительно произошло взрывное событие, образовавшее на месте небольшого углубления кратер шириной около 700 и глубиной более 100 м, то следы этого не могли быть лишь покровы из лапилли, лавовые глыбы и уничтоженная растительность. Подобное извержение должно было привести к гораздо более значимым последствиям, таким как изменение морфологии вершины вулкана и значительному воздействию на соседние кратеры и близлежащие территории.

Наличие покровов из лапилли свидетельствует о сравнительно небольшом извержении, которое не могло так сильно повлиять на морфологию кратера и его глубину, и, скорее всего, происходило значительно ранее указанного В.И. Влодавцем с соавторами периода.

На карте 1943 г. вулкан Малый Семячик действительно назван горой, но это вовсе не означает, что данная карта является свидетельством отсутствия вулканической активности: на этой карте на дне кратера Троицкого изображена fumarola. Также, особо интересной деталью карты 1943 г. является отсутствие озера в кратере Троицкого. Трудно представить, чтобы картографы могли ошибиться, не заметив озеро на материалах аэрофотосъемки, но при этом разглядели на дне кратера fumarolu. Исходя из этого, мы можем заключить, что озера в момент аэрофототопографической съемки для создания карты 1943 г. действительно не было. Таким образом, достаточно глубокое термальное озеро в кратере Троицкого образо-

валось за весьма непродолжительное время в интервале между аэрофотосъемочными работами генштаба СССР и полевыми наблюдениями сотрудников Ключевской вулканостанции, то есть в первой половине 40-х гг. XX века.

Сведения о «кратерообразующем» извержении, собранные В.И. Влодавцем, А.И. Морозовым и В.Д. Троицким со слов очевидцев, также вызывают сомнения в их надёжности. Приведем цитату: «Нам сообщили (метеоролог А.Ф. Никитин и др.), что ... с июля 1945 г. Малый Семячик начал «дымить» ... Самые сильные выделения газов (по словам А.Ф. Никитина – «извержения») происходили в сентябре и октябре 1945 г. ... Извержения темных туч (с пеплом?) наблюдались два раза. ... 14 августа (1946 г.) в 20 час. поднялся над кратером Малого Семячика не особо высоко черный «дым». Такое же явление наблюдалось и 16 августа 1946 г. около 21 часа 30 мин. (Последние сведения получены от А.Я. Дерешева).» [2, стр. 19].

Дело в том, что в 1946 г. участниками Камчатской вулканологической экспедиции Лаборатории аэрометодов АН СССР под руководством Ю.С. Доброхотова была произведена аэрофотосъемка вулкана Малый Семячик [7]. Хотя аэрофильм данной съемки до нас не дошел, один из снимков Малого Семячика был опубликован в [3,8,9], поэтому в настоящее время возможно визуально оценить состояние кратера Троицкого в 1946 г.

Поскольку аэрофотосъемка вулкана Малый Семячик производилась Ю.С. Доброхотовым 27 августа 1946 г. на её материалах должны быть запечатлены следы эксплозивных извержений, происходивших со слов местных жителей за считанные дни до съемки. Вопреки этому, на снимке (рис. 2) мы не находим ни эксплозивных воронок, ни следов заплесков волн цунами в озере. Внимательное прочтение работы [2] при сопоставлении со снимком Ю.С. Доброхотова приводит нас к выводу о том, что уверенно говорить можно лишь о интенсивной фумарольной деятельности Малого Семячика в 1945–1946 гг.

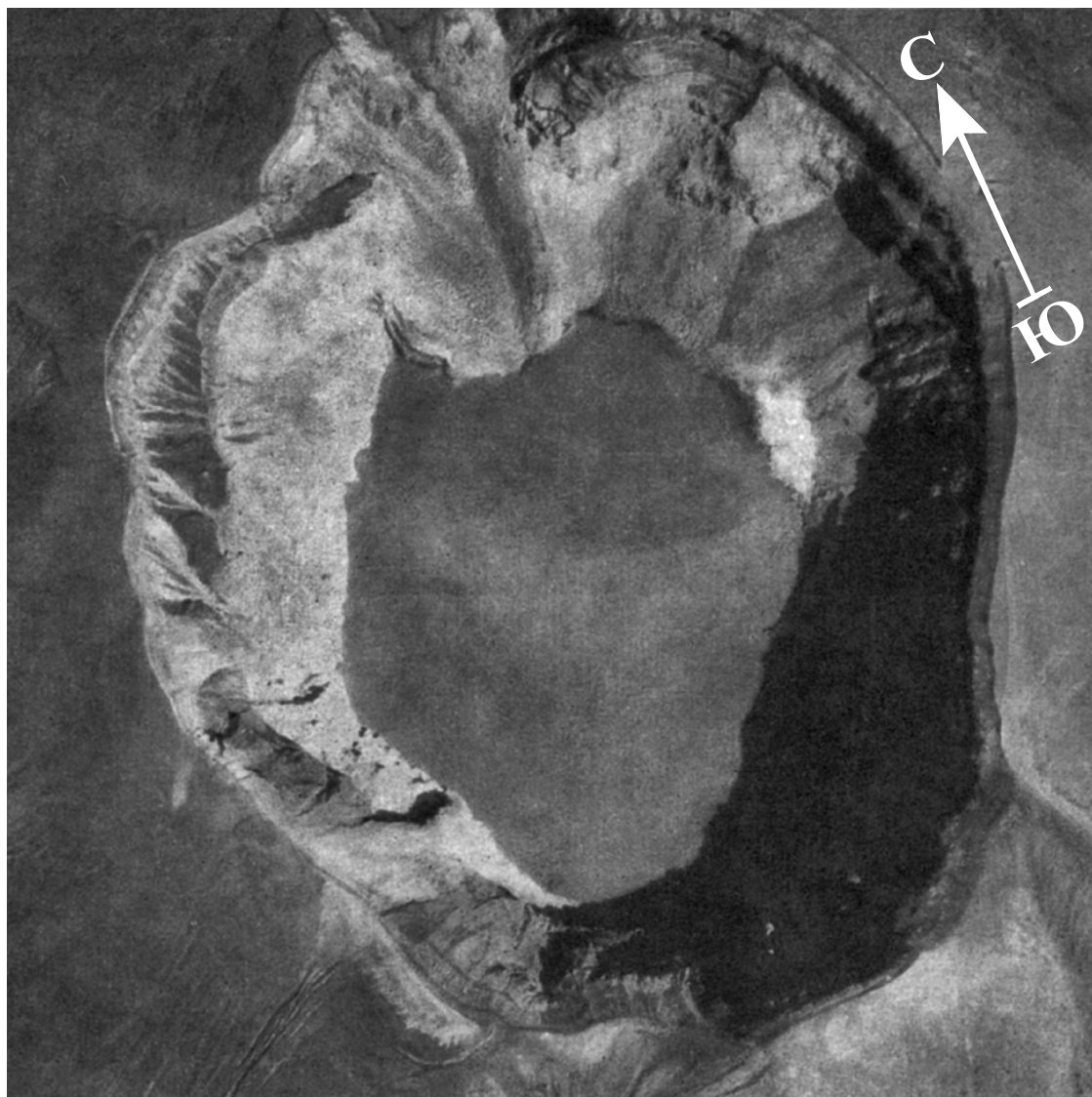


Рис. 2. Аэрофотоснимок кратера Троицкого 27.08.1946 г.  
Фото Ю.С. Доброхотова.

Более всего в работе [2] обращает на себя внимание тот факт, что из всех опрошенных вулканологами местных жителей об «извержениях» 14 и 16 августа 1946 г. сообщает только один очевидец – А.Я. Дерешев. Возможное объяснение этому может быть связано с тем, что ближайшее селение – Жупановское – расположено в 21 км на СВВ от Малого Семячика, и всего в 12 км от его створа с Карымским вулканом. В свою очередь Ю.С. Доброхотову во время аэрофотосъёмочных облётов «запомнился небольшой Карымский вулкан, часто удивлявший неожиданными выбросами огромных клубов дыма, быстро рассеивавшихся ветром» [7, стр. 14]. Если

предположить, что А.Я. Дерешев во время наблюдений находился в 10–15 км от селения вверх по течению реки, то виденный им «не особо высоко черный «дым»» мог на самом деле быть произведён Карымским вулканом.

Таким образом, исходя из анализа первоисточников, мы приходим к выводам об отсутствии эксплозивной активности вулкана Малый Семячик в 1945–1946 гг. и об образовании озера в уже существующем кратере вулкана Малый Семячик в первой половине 1940-х гг. О том, что кратер Троицкого не был образован в 1945–1946 гг. можно говорить совершенно уверенно.

### ОБРАЗОВАНИЕ КРАТЕРА ТРОИЦКОГО

В 1968–1978 гг. большим коллективом из сотрудников Института вулканологии и приглашенных специалистов производились работы по комплексному геологическому исследованию Карымского вулканического центра. В процессе этих работ были получены радиоуглеродные датировки и на их основе проведена реконструкция истории формирования вулканов, находящихся на его территории. Ю.Б. Селянгиным [10] было выполнено геолого-морфологическое картирование вулкана Малый Семячик. Также, на основании радиоуглеродного определения возраста самых верхних покровов постройки вулкана Малый Семячик, им было выдвинуто предположение об образовании кратера Троицкого около 400 лет назад в результате мощного взрыва, непосредственно вслед за которым последовал период длительного затишья.

Приведём цитату: «Кратер, по заключению О.Б. Селянгина, несомненно вмещал лавовое озеро с уровнем зеркала около 1370 м, переливавшееся на разных участках гребня ... Последний ритм (КС<sub>5</sub>) был чисто эксплозивным. Он начался взрывом, отложения которого залегают в пределах западного и юго-западного секторов подножия в радиусе 3 км от вулкана. Взрывные отложения особенно широко развиты в районе конуса Обманувшего, где они в виде небольших разбросанных всхолмлений лежат на

поверхности лавовых потоков ... Главную часть взрывных отложений составляет материал, представленный глубоко измененными эффузивами, которые, разваливаясь в труху, дают в толще зеленоватые, розовые и желтые цветные пятна ... Мощность взрывных отложений измеряется от нескольких до десятков сантиметров. В результате этого взрыва (около 400 лет назад) и последующих эксплозий и обрушений стенок кратер Трицкого окончательно оформился в его современных границах.» [1, стр. 233].

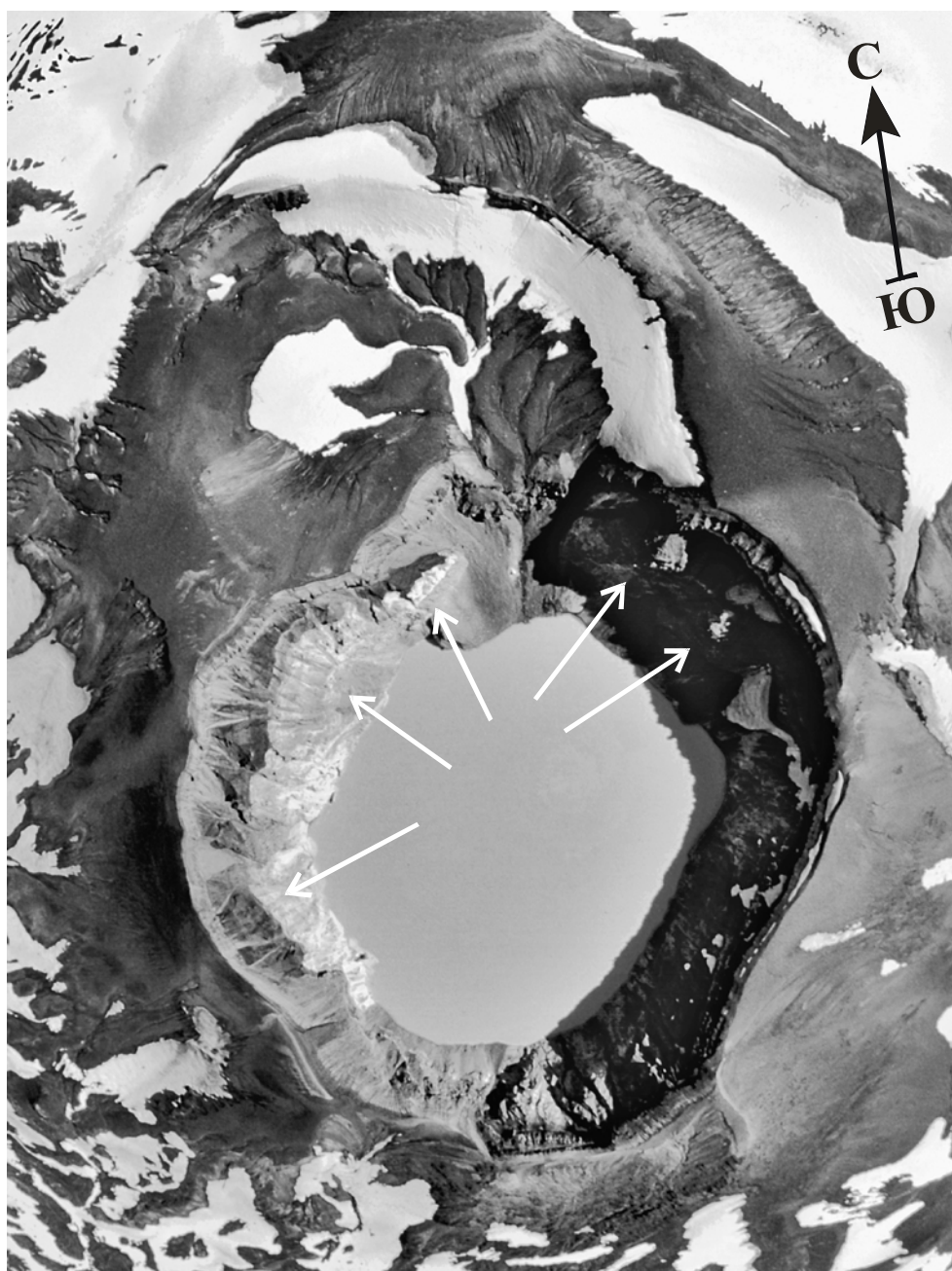


Рис. 3. Плановый снимок вулкана Малый Семачик. Стрелками показаны блоки, опустившиеся в результате просадок, предшествовавших кратерообразованию. Фото В.Н. Двигало, 1986 г.



Действительно, на аэрофотоснимке (рис. 3), мы можем видеть остатки лавового озера в кратере Среднем. По всей вероятности, некогда у него было продолжение в пределах современного кратера Троицкого. Согласно реконструкции О.Б. Селянгина, это лавовое озеро имело вытянутую «кормообразную» (термин О.Б. Селянгина) форму и его поверхность перед образованием кратера Троицкого простиралась вплоть до южной кратерной стенки вулкана Малый Семячик, то есть перекрывала практически всю площадь современного кратера Троицкого.

Если современный кратер Троицкого в прошлом был заполнен до отметки 1370 м (уровень центральной части лавового озера в Среднем кратере), то объем отсутствующего ныне в нём материала составлял не менее 100 млн. м<sup>3</sup>. Взрыв, которым по предположению О.Б. Селянгина образован кратер, должен был происходить вертикально вверх, поскольку кромка кратера имеет субгоризонтальное положение. Таким образом, выброшенный взрывом материал должен был сформировать отложения по всем склонам Малого Семячика, а не только «в пределах западного и юго-западного секторов подножия».

Как мы можем судить по остаткам лавового озера в кратере Среднем, к моменту образования кратера Троицкого оно было полностью застывшим. Следовательно, значительную часть взрывных отложений должны составлять крупноглыбовые агломераты монолитной лавы, совершенно не имеющие свойства «разваливаться в труху». При взрыве, направленном вертикально вверх, они не могли далеко разлететься. Их отложения мощностью в десятки метров, а не сантиметров, должны были заполнить кратеры Восточный и Средний, форма поверхности последнего из них должна была представлять собой колоссальный бортовой вал.



Рис. 4. Вулкан Камбальный. Вид с ЮЗ. Фото Ю.С. Доброхотова, 1946 г.

В действительности ни одного признака такого катастрофического взрыва, который мог бы образовать Кратер Троицкого, мы не наблюдаем. Объем «взрывных отложений» составляет величину порядка 1% от объема кратера Троицкого. Ни визуально, ни морфологически они ничем не выделяются из общей композиции постройки вулкана Малый Семячик. Для примера на рис. 4 приведен снимок вулкана Камбальный. Хотя кратер, с образованием которого связаны взрывные отложения на южном склоне вулкана, имеет объем на порядок меньший, чем кратер Троицкого, они сильно контрастируют с поверхностью склона не только по морфологии, но и по текстуре.

Следует отметить, что взрывы, как правило, образуют конические отрицательные формы рельефа, в то время как форма кратера Троицкого близка к колодеобразной. Его максимальная глубина от кромки (около 400 м [5]) составляет более половины относительной высоты вулкана Малый Семячик (около 700 м). Принимая во внимание тот факт, что форма вулкана Малый Семячик далеко не симметрична, а по данным геофизических исследований его южный склон ослаблен [4] мы можем заключить, что в случае, если взрыв достаточной для образования кратера Троицкого мощности действительно имел бы место в постройке вулкана на такой глубине, то направление выброса материала никоим образом не могло быть вертикальным. От воздействия столь сильного и глубокого взрыва постройка вулкана Малый Семячик, должна была принять форму, близкую к таковой у вулканов Безымянный в 1956 г. и Сент-Хеленс в 1980 г., а не к той, которую мы наблюдаем в настоящее время.

Интересной в этом отношении является отмеченная О.Б. Селянгиным закономерность формирования вулканов Карымского вулканического центра, заключающаяся в существовании некоторой (около 1400–1500 м) предельной высоты, выше которой находящиеся на его территории вулканы никогда не поднимались: «относительное единообразие уровня вершин вулканов Карымской группы ... показывает, что отражаемая гипсометрией построек максимальная высота подъема магматических колонн определяется долговременным постоянно действующим фактором. Среди всех вероятных сил, вызывающих подъем магмы на поверхность, таким постоянным действием обладает лишь гидростатическое давление. ... Таким образом, естественным ограничителем максимально возможного поднятия магмы и роста вулканов является уровень ее гидростатического равновесия. Достижение его вулканами приводит к их угасанию и необходимости перестройки ...» [10, стр. 44].

Взрывное происхождение кратера Троицкого коренным образом выливается из этой концепции, поскольку необходимое для взрыва давление

в постройке вулкана Малый Семячик должно было как минимум на порядок превышать «уровень гидростатического равновесия».

Более вероятным авторам доклада представляется провальное происхождение кратера Троицкого. В этом случае процесс его образования был подобен наблюдавшемуся на вершине вулкана Плоский Толбачик в 1970-х гг. [6] Аэрофотоснимки, иллюстрирующие развитие этого процесса представлены на рис. 5.

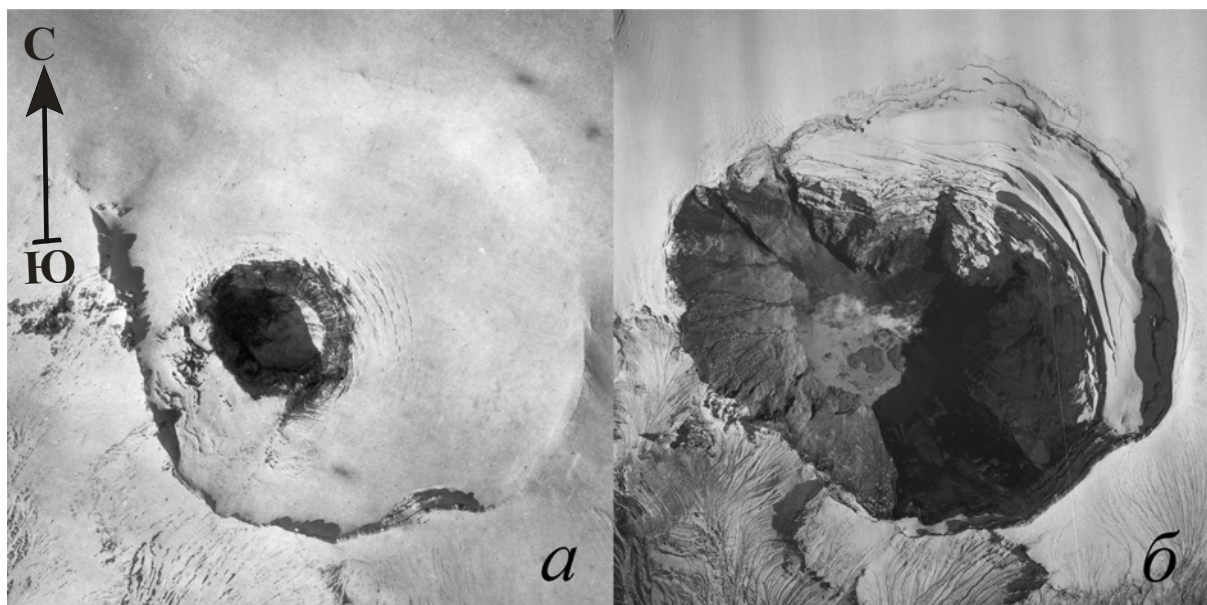


Рис. 5. Аэрофотоснимки малой кальдеры в вершинной части вулкана Плоский Толбачик: *а* – 06.09.1974 г., *б* – 13.08.1977 г.

При сравнении кратеров вулканов Малый Семячик и Плоский Толбачик мы можем отметить их сходство и выявить общие морфологические элементы. Так, на примере Плоского Толбачика мы видим, что провальный кратер образовывался в пределах так называемой малой кальдеры – структуры, на просадочное происхождение которой указывал ещё Б.И. Пийп [11]. В процессе увеличения до современных размеров провальный кратер не поглотил ее полностью, оставив узкую ступень в северо-восточном секторе. Вероятно, провальные процессы имеют ограничение по ареалу действия внутри той площади, которая была затронута предшествовавшими им просадками, поскольку подобные ступени мы можем видеть и в кратере

Троицкого – в его западном, а также северно-восточном секторах. Относительно небольшой блок, продолжающий ступень проседания в западном секторе, наблюдается и со стороны кратера Среднего. Данные образования не могли возникнуть в результате резких движений, вызванных одноактным провалом или взрывом, поскольку, во-первых, они в разных частях имеют различный уклон внутренней стенки, местами доходящий до вертикального, а во-вторых – несмотря на различие в уклоне, а также в материале, из которого они состоят – почти одинаковую амплитуду понижения. Проседание краёв кратера после его образования в силу этих причин также исключается

Любые резкие движения, либо постпроцессы в кратере при отсутствии внутренней опоры, которой являлся для данных блоков в процессе проседания заполнявший его материал, должны были привести к разноамплитудным движениям, обусловленным неоднородным строением стенок кратера и их разным уклоном, а также вызвать обрушение всех субвертикальных и вертикальных блоков. Наличие ступенеобразного понижения внутренней стенки кратера Троицкого (см. рис. 3) является свидетельством просадок, предшествовавших его образованию в результате серии провалов.

По мнению авторов, образование кратера Троицкого занимало несколько лет и происходило в период отсутствия активности вулкана Малый Семячик. Скорее всего, оно было связано с оттоком магматического вещества из его постройки.

## ВЫВОДЫ

1. Анализ карты, выполненной Военно-топографическим управлением генштаба СССР, показывает, что на время ее создания кратер Троицкого имел значительную глубину, но озеро в нем отсутствовало. Таким образом, оз. Зеленое образовалось в первой половине 40-х гг. XX века в уже существующем кратере вулкана Малый Семячик.

2. В результате сопоставления материалов предыдущих исследований выявляется необоснованность сведений об эксплозивной активности вулкана Малый Семячик в 1945–1946 гг. Следы извержения в этот период отсутствуют, а активность вулкана, по всей видимости, сводилась к фумарольной.

3. Объем отложений предполагаемого в предыдущих работах кратерообразующего взрыва на два порядка меньший, чем объем кратера Троицкого, а также отсутствие в их составе агломератов указывают на непричастность образовавших их эксплозивных событий к формированию кратера.

4. При сравнении вершинных частей вулканов Малый Семячик и Плоский Толбачик определяются имеющие одинаковое происхождение морфологические элементы, свидетельствующие о формировании Кратера Троицкого в результате серии провалов предварявшихся просадками.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Брайцева О.А., Егорова И.А., Несмачный И.А., Сулержицкий Л.Д. Вулкан Малый Семячик // Вулканический центр: строение, динамика, вещество. М.: Наука, 1980. С. 198–235.
2. Влодавец В.И., Морозов А.И., Троицкий В.Д. Вулкан Малый Семячик // Бюллетень вулканологической станции. 1948. Вып. 15. С. 19–27.
3. Влодавец В.И., Пийп Б.И. Каталог действующих вулканов Камчатки // Бюллетень вулканологической станции. 1957. Вып. 25. С. 5–95.
4. Горшков А.П. Строение вулканической постройки и некоторые вопросы вулканического районирования (на примере вулкана Малый Семячик) // Бюллетень вулканологических станций. 1976. № 52. С. 30–41
5. Горшков А.П., Гребзды Э.И., Самойленко Б.И., Слезин Ю.Б. К расчету баланса тепла и массы кратерного озера вулкана Малый Семячик // Бюллетень вулканологических станций. 1975. № 51. С. 50–59.
6. Двигало В.Н., Чирков А.М., Федотов С.А. Новая вершинная кальдера Плоского Толбачика // Большое трещинное Толбачинское извержение (Камчатка 1975–1976). М.: Наука, 1984. С. 75–83.
7. Доброхотов Ю.С. Аэросъемка в геологических экспедициях АН СССР // Природа. 1951. № 12. С. 11–19.
8. Заварицкий А.Н. Вулканы Камчатки // Труды лаборатории вулканологии, 1955. Вып. 10. С. 3–82.
9. Святловский Е.А. Атлас вулканов СССР. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1958. 174 с.
10. Селянгин О.Б. Петрогенезис базальт-дацитовый серии в связи с эволюцией вулканоструктур. М.: Наука, 1987. 148 с.
11. Пийп Б.И. Вулкан Толбачик // Бюллетень вулканологической станции. 1954. Вып. 20. С. 69–71.

FORMATION OF THE TROITSKY CRATER AND ZELYONOYE LAKE AT  
MALY SEMYACHIK VOLCANO (KAMCHATKA)*Svirid I. Yu., Shevchenko A. V.**Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS  
Vitus Bering Kamchatka State University*

The paper presents the results from investigation of the Troitsky Crater (Maly Semyachik Volcano) based on the analysis of cartographic and aerial photographic materials and also on data from previous research. The investigation revealed lack of reliable data on explosive activity at Maly Semyachik Volcano over 1945–1946. The crater lake was formed in early 40s of the 20<sup>th</sup> century inside the already existing crater, which had been formed rather due to collapse-subsidence processes than as a result of previously suggested explosive processes.

*Keywords: Maly Semyachik Volcano, crater lake, crater morphology.*