

© Свирид И.Ю., Шевченко А.В.

## ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ ГЕОМОРФОЛОГИИ И ФОТОГРАММЕТРИИ НА ПРИМЕРЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ КАМЧАТКИ

*Авторы – младшие научные сотрудники Лаборатории геодезии и дистанционных методов исследований Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, аспиранты Камчатского государственного университета им. Витуса Беринга. Сфера научной деятельности (с опытом свыше 10 лет) – морфометрические исследования и геоморфологическая интерпретация объектов вулканического и гидротермального происхождения.*

«Из «пенковской» модели вышла динамическая геоморфология, в какой-то мере неотектоника, морфотектоника и изучение современных движений земной коры».

*Д.А. Тимофеев. Размышления о фундаментальных проблемах геоморфологии. Избранные труды. 2011. С. 488*

На современном этапе развития геоморфология не может существовать «в чистом виде» изолированно от других наук о Земле. Хотя, как и любая другая наука, она имеет «свой собственный» объект исследования – рельеф земной поверхности, его изучение с абстрагированием от всех «негеоморфологических» аспектов в большинстве случаев является нецелесообразным. Необходимость в изучении рельефа «не изолированно, но в связи с другими природными элементами» подчеркивал еще И.С. Щукин [1, с. 11], приводя в качестве обязательных для интеграции в геоморфологические исследования знания из следующих наук: геология, гидрогеология, метеорология, климатология, гидрология, почвоведение, геоботаника, химия и физика.

В дополнение к необходимости интеграции знаний о влиянии изучаемых другими науками явлений на рельеф геоморфология также испы-

тывает потребность в интеграции методов, используемых в прикладных дисциплинах для получения данных о земной поверхности. Как наиболее перспективные И.С. Шукиным были указаны геофизические методы (электро- и сейсморазведка), анализ изотопного состава, а также использование аэрофотоснимков. Даже сегодня, спустя более половины столетия после написания работы [1], указания ее автора по-прежнему актуальны. В особенности это касается аэрометодов, подлинный потенциал которых, по мнению авторов настоящей статьи, еще не вполне раскрыл себя в геоморфологии.

Обычно под «использованием аэрофотоснимков» в геоморфологии подразумевается их визуальная интерпретация, известная под традиционным названием «геоморфологическое дешифрирование». Как правило, она производится на этапе рекогносцировочного сбора информации для планирования полевых работ, а также при составлении геоморфологических карт. И в том и в другом случае техника ее выполнения чаще всего сводится к внимательному и вдумчивому рассматриванию либо одиночных снимков (иногда сшитых в мозаику), либо их стереопар под стереоскопом. Применительно к составлению карт эта операция дополняется идентификацией участков местности на снимках и существующих топографических картах с целью нанесения на топооснову распознанных на фотографических изображениях геоморфологических элементов.

При такой технике составления отрисовка границ выделенных объектов на создаваемую геоморфологическую карту сопряжена с большим количеством ручной работы и имеет низкую точность. Для решения этой проблемы, а также получения морфометрических данных в состав полевых геоморфологических работ может быть включена геодезическая съемка. В этом случае для нанесения контуров объектов на топооснову геоморфологических карт используются геодезические данные, а дешифрирование аэрофотоснимков осуществляется на этапе рекогносцировки при планировании геодезических работ. Парадокс такого решения заключается в том, что в подавляющем большинстве случаев топоосновой геоморфологических карт служат топографические, полученные в результате стереофотограмметрической обработки аэрофотоснимков. Иногда – тех самых, которые впоследствии используются для геоморфологического дешифрирования.

Дело в том, что топографические карты являются рафинированным продуктом фотограмметрической обработки аэрофотоснимков: при их получении некоторая часть всей доступной фотограмметристам информации, в том числе и представляющей геоморфологическую ценность, отбрасывается. Например – информация о положении и струк-

турных особенностях небольших дизъюнктивных нарушений, даек, выходов пластов на поверхность и т. п. Кроме того, в процессе укладки горизонталей отображаемый на топооснове рельеф земной поверхности загрубляется, что существенно затрудняет выделение контуров слабовыраженных элементов рельефа непосредственно на топографических картах.

Устоявшаяся практика геоморфологического использования аэрофотоснимков чревата значительными издержками: при этом с большим трудом вручную проделывается та же работа, которая на этапе выполнения фотограмметрической при помощи инструментальных средств могла быть сделана гораздо проще и с более высокой точностью посредством совмещения ее с топографической. Иногда, чтобы с наименьшими издержками восстановить утерянную информацию, к уже полученному рельефу (в виде карт или цифровых моделей) применяется линейно-амбигуальный анализ, но всегда ли он дает достоверные результаты? И не лучше ли при наличии видимых искомым объектов выделять именно их? Именно для этого, по мнению авторов, необходима гораздо более тесная интеграция геоморфологии и фотограмметрии, нежели существующая в настоящее время. Целенаправленные аэрофотограмметрически-геоморфологические работы способны не только повысить качество и продуктивность выхода материала при составлении геоморфологических карт, но и с большей оперативностью и меньшими затратами, чем при наземной геодезической съемке, предоставить морфометрические данные об исследуемых объектах.

Конечно, для выполнения такой междисциплинарной работы требуется тесное сотрудничество специалистов в обоих ее аспектах, либо подготовка универсальных кадров. С большим сожалением можно отметить современную тенденцию к угасанию аэрофотограмметрической отрасли в России. В текущей экономической обстановке из-за нерентабельности закрываются созданные в советское время аэрофотогеодезические отряды и экспедиции. В профильных ВУЗах ликвидируются имеющие низкие конкурсы и наполняемость групп учебные потоки по специальности «фотограмметрия»: на настоящий момент набор студентов производится только Московским государственным университетом геодезии и картографии.

Однако сложившаяся в Отечестве ситуация не является безвыходной. Возможность ее решения существует благодаря техническому прогрессу. Фотограмметрические работы сегодня уже не требуют дорогостоящего оптикомеханического оборудования. Необходимые для них преобразования изображений успешно производятся посредством специального программного обеспечения, способного также автоматически выпол-

нять все сложные вычисления при определении пространственного положения исследуемых объектов в геодезических системах координат. Потребность в специальных знаниях для цифровой программной стереофотограмметрической обработки снимков является на порядок меньшей, чем в случае классической аналоговой инструментальной. В свою очередь аппаратное обеспечение для современных аэрофотосъемочных работ также не стоит на месте: с каждым годом на рынке оборудования появляются менее дорогостоящие камеры, имеющие при этом более высокое разрешение, по сравнению с моделями предыдущих лет. Оптическая разрешающая способность и динамический диапазон цифровых матриц современных аэрофотокамер уже сегодня позволяет отказаться от дорогого и трудозатратного использования фотопленки, при этом их массогабаритные характеристики допускают установку на *беспилотные летательные аппараты*.

Все это позволяет говорить о повышении доступности аэрофотограмметрических работ при выполнении геоморфологических исследований. На сегодня общая стоимость фотограмметрического оборудования и программного обеспечения сопоставима с необходимым для производства геодезических работ и имеет тенденцию к снижению. По мнению авторов настоящей статьи знания, достаточные для фотограмметрической обработки снимков с целью составления геоморфологических карт, можно собрать в специальный курс, рассчитанный на четыре семестра. Интеграция такого курса в систему подготовки геоморфологических кадров не является затруднительной.

Кроме того, по мнению авторов настоящей статьи, учебные курсы по специальным разделам геоморфологии обязательно следует дополнить отсутствующими в настоящее время учебными и методическими пособиями, содержащими стереоскопические изображения морфоструктур, полученные на основе аэрофотоснимков. Технически их издание не представляет особой трудности при использовании анаглифического метода печати, разработанного В. Роллманном еще в 1852 г.

Понимание потенциала аэрофотограмметрического метода уже приходит в геоморфологическую науку. Так в 2007 г. в Санкт-Петербургском государственном университете Т.М. Кудиновой была защищена диссертация на тему *«Опыт и перспективы системно-морфологического картографирования рельефа земной поверхности»*, научная новизна которой, в частности, заключалась в том, что в ней была «впервые показана возможность создания системно-морфологических карт стереофотограмметрическим методом» [2, с. 3]. Однако, как уже было указано, возможности стереофотограмметрического метода не исчерпываются применимостью для создания одного из видов геоморфологических карт. Авторы

делают такое заключение, основываясь не только на простых рассуждениях, но и на собственном, а также накопленном их сотрудниками опыте выполнения работ по морфометрии и геоморфологической интерпретации активных объектов вулканических районов Камчатки. Работы в этом направлении на основе аэрофотограмметрического метода производились с 1973 г. в Институте вулканологии ДВНЦ АН СССР, позже – Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. В результате этих работ были получены детальные данные о морфодинамике активных вулканов [3]. При этом благодаря регулярному выполнению аэрофото-съемочных работ в ряде случаев были установлены морфологические предвестники вулканической деятельности [4], а также выявлены потенциально опасные геоморфологических процессы, связанные с эруптивными [5].

Этот опыт позволяет утверждать, что наиболее рациональное использование первичного материала достигается только при совмещении топографической обработки с геоморфологической интерпретацией на одном этапе.

Наиболее существенной проблемой в сфере деятельности авторов настоящей статьи является отсутствие общепринятого подхода и методики геоморфологической интерпретации вулканического рельефа. В настоящее время ни в России, ни за рубежом не существует ни одной методической работы по выделению геоморфологических объектов вулканического происхождения. Более того, собственные шаги авторов в этом направлении встречают противодействие со стороны коллег-вулканологов. Так, в копилке печального опыта авторов попытка публикации статьи, содержащей строгие морфологические критерии отличия экструзивных куполов и лавовых потоков в одном из вулканологических журналов, встретившая яростное сопротивление со стороны редакции, несмотря на две положительные рецензии.

Казалось бы, нисколько не претендующая на революционность прикладная геоморфологическая работа вскрыла огромную проблему в области приложения – вулканологии: за все время существования и развития этой науки в ней не были четко разграничены данные типы морфоструктур. Увы, сама по себе вулканология, будучи наукой, относящейся к петрографическим (как по УДК, так и по ГРНТИ), как оказалось, не может самостоятельно провести границу: подчас различия в составе изверженного материала, из которого они составлены, являются ничтожными или вообще отсутствуют [6]. Определение типа извержения – эффузивного или экструзивного – по образцам эруптивных пород является трудноразрешимой задачей. Однако ошибки таких определений могут иметь далеко идущие последствия.

Примером такой ошибки являются исследования вулкана Кизимен (Камчатка). К сожалению, вплоть до последнего времени они имели характер единичных работ. Первопроходческой являлась работа [7], в которой (главным образом на основе интерпретации петрологических данных) было сделано заключение о том, что постройка вулкана состоит из крупного эндогенного (согласно [8]) экструзивного купола, перекрытого лавовыми потоками. Указывалось, что обнаженные выходы этого экструзивного купола наблюдаются на восточном и южном склонах вулкана.

Последующие работы [9, 10] унаследовали эту картину геологического строения вулкана. В работе [10] был сделан прогноз, основой которого являлось предположение о сходстве геологического строения вулканов Кизимен и Сент-Хеленс (США): что оба они имеют в своей постройке экструзивные купола. Исходя из этого предположения авторы работы [10] сделали вывод, что деятельность вулкана Кизимен в ближайшие десятилетия будет иметь характер фумарольной с небольшими фреатическими взрывами, а следующее крупное извержение произойдет по сценарию катастрофического обрушения северного сектора постройки, подобного имевшему место на вулкане Сент-Хеленс 18 мая 1980 г.

Однако этот прогноз оказался далеким от реальности. В ноябре 2010 г. началось новое извержение вулкана Кизимен, имевшее совершенно отличный от предсказанного характер. После непродолжительной (3–4 месяца) эксплозивной фазы, проявлявшейся выбросами ювенильного материала в виде пепла и пирокластики (без фреатики), на поверхность стала поступать вязкая лава. В результате эффузивной деятельности образовался крупнейший среди исторических извержений мира лавовый поток: по состоянию на 11 декабря 2011 г. его объем составлял 0,195 км<sup>3</sup>, средняя мощность – 90 м, максимальная – 232 м [11].

В процессе обработки аэрофотоматериалов, полученных при исследовании данного извержения, а также – ревизии старых аэрофотоснимков вулкана Кизимен В.Н. Двигало совместно с авторами настоящей статьи было обнаружено отсутствие крупных экструзивных форм, проявляющихся в его морфологии. Принятые предыдущими исследователями за эндогенные купола объекты на самом деле таковыми не являются: по характеру поверхности определяются следы их течения с вершины вулкана, а также – каплевидная форма. Фактически они представляют собой мощные и короткие потоки глыбовой лавы морфологически сходные с образованным в 2010–2012 гг., но не имеющие бортовых валов (рис. 1). Фронтальная часть одного из них (южного) обрушилась с образованием скал-останцов, морфология которых, по всей видимости,

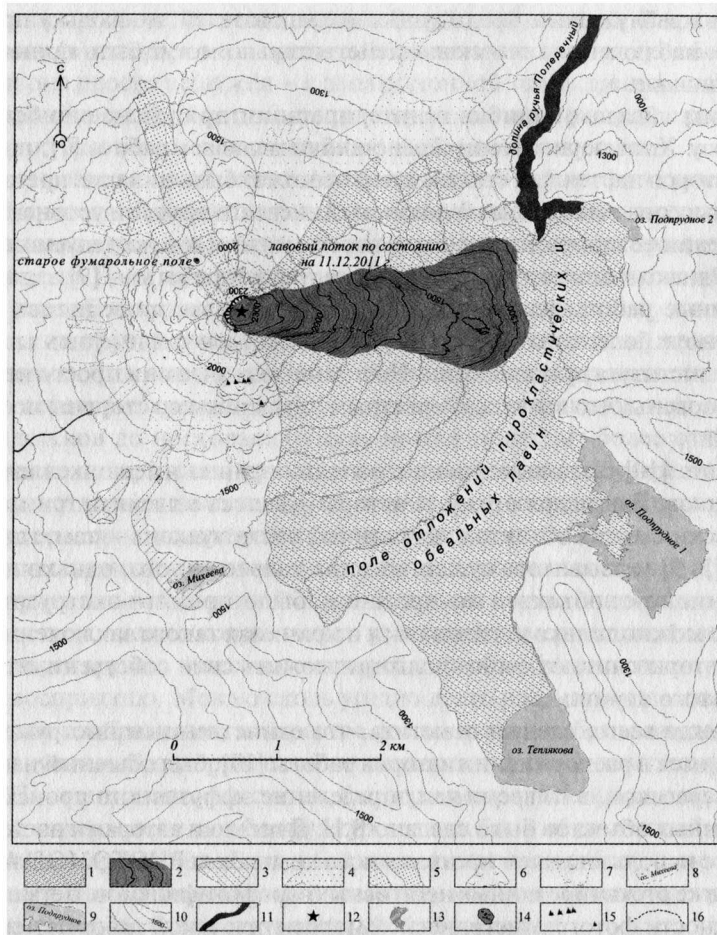


Рис. 1. Карта последствий извержения вулкана Кизимен, составленная по результатам фотограмметрической обработки аэрофотоснимков 11.12.2011 г.

1 – главное поле отложений ювенильных пирокластических и обвалных лавин; 2 – новый лавовый поток; 3 – поля отложений обособленных ювенильных пирокластических и обвалных лавин; 4 – маломощные (десятки сантиметров – первые метры) отложения пепла и перенесенного ветром материала пирокластических лавин; 5 – андезитобазальтовые лавы IV цикла извержений; 6 – короткие крупноглыбовые мощные андезитовые лавовые потоки; 7 – обрушенный фрагмент одного из потоков типа 6; 8 – контур береговой линии уничтоженного отложениями ювенильных пирокластических и обвалных лавин оз. Михеева; 9 – озера; 10 – горизонталы и их отметки; 11 – отложения грязевых потоков; 12 – центр эффузивной деятельности; 13 – пробкообразный жерловый купол; 14 – старое фумарольное поле; 15 – скалы-останцы на границе обрушений потока типа 6; 16 – граница между двумя потоками, сформировавшими лавовое поле

и ввела в заблуждение предыдущих исследователей, поскольку при наземных наблюдениях эти скалы действительно могут быть приняты за экструзивные.

Таким образом, ошибка в интерпретации привела к ошибочному прогнозу. Хотя первоисточником ошибки являлась работа [7], по мнению авторов настоящей статьи, к ней не может быть никаких претензий, поскольку она выполнена на должном для своего времени уровне. В распоряжении ее автора еще не было аэрофотоснимков исследуемого объекта. Однако к моменту написания следующей работы – [9] аэрофото-съемочные работы на всей территории Камчатки проводились неоднократно, и более того – снимки вулкана Кизимен уже имелись в первом отделе института вулканологии. Но в данном случае они просто не были использованы, что являлось серьезным упущением со стороны исследователей.

Работа [10] была выполнена с использованием имевшихся аэрофотоснимков. Благодаря этому ее авторам удалось выделить три морфологически схожих объекта в вершинной части вулкана – там, где в работах [7, 9] указывалось существование только одного, однако происхождение этих объектов по-прежнему было принято экструзивным. Сейчас можно только догадываться о причинах такого заключения, однако авторы считают своим долгом изложить свои собственные выводы из этого случая.

Прежде всего, следует отметить, что единственным инструментом, имевшимся в распоряжении авторов работы [10], был обычный настольный стереоскоп, в то время как определение эффузивного происхождения данных объектов было сделано В.Н. Двигало и авторами настоящей статьи с использованием программного комплекса PHOTOMOD 4.3 при обработке отсканированных негативных аэрофотофильмов. Детальность поверхности фотограмметрической модели при такой работе в несколько раз выше, чем наблюдаемого стереоизображения в стереоскопе с небольшим увеличением.

Однако морфологические признаки эффузивного происхождения на самом крупном из этих объектов (восточном) отчетливо видны даже при рассмотрении отпечатков в стереоскопе, но, к сожалению, – только авторам настоящей статьи, а также специалистам, чья деятельность состоит в фотограмметрической обработке аэрофотоснимков.

Опыт работы авторов показывает, что стереоскопическое восприятие очень субъективно. Порядка 3% человеческой популяции – это медицинский факт – вообще неспособны к восприятию стереоскопических изображений (не по причине односторонней потери зрения). Однако и среди людей без нарушения стереоскопического восприятия эта спо-



способность проявляется неодинаково. В действительности современному человеку (в отличие от его предков, обитавших на деревьях) в обыденной жизни она просто не нужна – с эволюционной точки зрения она является рудиментарной. И хотя большинству людей она присуща с рождения, для практического использования ее необходимо развивать.

Эта необходимость отчетливо проявляется в работе фотограмметриста-измерителя. Для выполнения измерений необходимо научиться ставить плавающую марку точно на поверхность стереофотограмметрической модели. Даже при изначально неплохом стереоскопическом восприятии всем без исключения студентам на первых порах это удается с большим трудом: ощущение поверхности расплывчатое, невозможно определить, где она находится – здесь, либо на метр выше или ниже. Через некоторое время практики (сугубо индивидуальное – от нескольких десятков до нескольких тысяч часов) приходит более отчетливое ощущение поверхности, при этом не только появляется уверенность в ее пространственном положении, но и начинают восприниматься на порядок более мелкие детали рельефа, чем до практики.

Существенный момент – любое обучение возможно только при наличии отрицательной обратной связи. В данном случае она осуществляется посредством оценки корректности установки измерительной марки. Не существует другого известного авторам способа обучения такому детальному восприятию. Можно сколь угодно долго рассматривать стереоскопические изображения, но простое рассматривание без взаимодействия с их ощущаемой поверхностью не является эквивалентом этому обучению. По мнению авторов статьи, фотограмметрическая практика с отрисовкой поверхности морфоструктур должна быть обязательной для студентов геоморфологов. В научной же деятельности работу с аэрофотоснимками также недопустимо сводить исключительно к простому рассматриванию без инструментальной обработки.

Последний вывод авторов из данного примера – различие эффузивных и экструзивных образований является исключительно геоморфологической особенностью. Результаты петрологических исследований слагающих постройку вулкана Кизимен пород представлены во всех трех упоминавшихся работах, но авторам ни одной из них петрологические данные не помогли прийти к правильным выводам о строении исследуемого объекта.

При возможности полной идентичности экструзивных и эффузивных образований по составу их геоморфологические свойства совершенно различны. Лавы куполов вследствие претерпевания характерных для экструзивного процесса около- и постсолидификационных деформаций в значительной мере разупрочнены и легко обрушаются при крупных

эксплозиях, а также под действием силы тяжести. Материал лавовых потоков, напротив, по причине солидификации непосредственно в месте окончательного формирования большей частью (за исключением брекчированной коры) является монолитным и таким образом – обладающим максимально возможной прочностью для данного типа пород. Вследствие этого лавовые потоки бронируют склоны вулкана, предохраняя его постройку от обрушения. Вулкан Кизимен является преимущественно эффузивным – экструзивные морфоструктуры существуют на его вершине только в виде небольших пробкообразных куполов (*plug domes* согласно [8]) – финальных выжимок затвердевшей лавы, образовавшихся при завершении эффузивных извержений. По этой причине вероятность предсказанного в работе [10] сценария одномоментного катастрофического обрушения большей части постройки при извержении для вулкана Кизимен близка к нулю.

Для иллюстрации выявленных авторами геоморфологических свойств и различий эффузивных и экструзивных морфоструктур следует привести еще один пример – вулкан Молодой Шивелуч. В его текущем цикле деятельности большим количеством исследователей с 2004 г. выделяется эффузивная фаза [12, 13]. Однако при ревизии материалов авторами настоящей статьи было обнаружено отсутствие морфологических признаков эффузивного происхождения у всех без исключения современных лавовых новообразований на его постройке. При сравнении с морфоструктурами других схожих по характеру деятельности вулканов мира (Сент-Хеленс, Санта-Мария (Мексика), Ундзен (Япония), Мерапи (Индонезия)) было обнаружено их абсолютное соответствие объектам, называемым в зарубежной литературе начиная с основополагающей работы [8] экзогенными куполами.

Ревизия отечественной вулканологической литературы показала, что термины «*эндогенный купол*» и «*экзогенный купол*» употреблялись в работах [14–16]. В работе [17] впервые приводится определение этих терминов на русском языке: «Обычно купола разделяют на эндогенные и экзогенные. К первым относят те из них, которые выросли путем первоначального расширения изнутри ... К экзогенным относят купола, которые образуются в результате выжимания ряда слоев вязкой лавы, перекрывающих друг друга» [17, с. 46], однако вслед за этим без обоснования причин предлагается отказаться от их употребления. После 1954 г. термин «экзогенный купол» не применялся в отечественной вулканологии для описания существующих и вновь образующихся вулканических куполов. У большинства известных авторам современных отечественных вулканологов этот термин также вызывает отторжение. По сей день общепринятой остается точка зрения на новообразования Молодого Ши-

велуча, как на лавовые потоки. Однако эти так называемые «лавовые потоки» не обладают ни геоморфологическими признаками, ни геоморфологическими свойствами эффузивных морфоструктур. У них отсутствуют бортовые валы, выраженный фронт и каплевидная форма, их вершинные части значительно мощнее фронтальных, от одного эруптивного центра они могут двигаться в разные стороны, раздваиваясь и даже разделяясь на три части. Их материал очень непрочный. При движении он постоянно осыпается и обваливается, и только за счет этого они никогда не достигают подножия купола. Само их движение имеет характер оползания, а не течения: при обваливании их частей обнажается подстилающая поверхность, проработанная до приобретения типичной формы зеркала скольжения с характерными бороздами [18]; свидетельствующие о течении выпуклые в сторону движения структурные линии также отсутствуют. Напротив – при наличии на этих объектах структурных линий они всегда выгнуты в обратную движению сторону – по причине того, что краевые части из-за истончения за счет постоянных латеральных осыпаний имеют меньшее сцепление с подстилающей поверхностью и оползают быстрее центральных частей.

Центральные части, в свою очередь, зачастую замедляют свой ход вплоть до остановки, в случае которой нагромождение надвигающегося сверху на остановившийся участок глыбового материала происходит до достижения им критической массы, обусловленной пределом устойчивости на поверхности склона. При его превышении масса глыб в центральной части обваливается, при этом на образованных обвалами срезах прослеживается отсутствие характерного для лавовых потоков строения: монолитного ядра с верхним и нижним слоями брекчированной коры.

В силу своей разрыхленности и раздробленности эти так называемые «лавовые потоки» не только не бронируют склон, но и способствуют его неустойчивости: с начала роста экзогенных куполов в 2001 г. и до настоящего времени выделяется пять крупных обвалов и множество мелких [19]. Наиболее крупный обвал произошел 27 октября 2010 г. Объем обрушения составил 0,28 км<sup>3</sup>, его материал был вынесен за пределы постройки вулкана Молодой Шивелуч по руслу р. Кабеку на 16 км [20].

В некоторых работах [13, 21] этот обвал был интерпретирован как крупное эксплозивное извержение, а обвальное отложение – как отложение пирокластического потока. Однако, образовавшаяся в 2010 г. отрицательная форма рельефа в вершинной части купола представляет собой классическое обвальное образование – шарра, сильно сужающееся книзу, а не эксплозивную воронку (рис. 2, цв. вкл.). Движение перемещенного материала происходило по желобу шарра, а не по баллистическим траекториям взрыва, поскольку на аэрофотоснимках, получен-

ных 22 ноября 2010 г. авторами настоящей работы было определено лишь незначительное количество взрывных отложений на склонах вулкана Молодой Шивелуч.

Утверждение авторов указанных работ о том, что отложения образованы пирокластическим потоком, основывается исключительно на петрографической характеристике их материала. Однако необходимо понимать, что на самом деле отложения обвала 27 октября 2010 г. представляли собой не что иное, как материал, перемещенный с вершины активного купола и изверженный сравнительно недавно. В значительной мере он был представлен массами пирокластики, отложенной на вершине купола – еще достаточно свежей и горячей, чтобы ее легко было принять за ювенильную.

*Очевидно, что без помощи геоморфологии классическая вулканология оказывается в затруднительном положении не только в разграничении эффузивного и экструзивного типов эруптивной деятельности, но и при определении извержений, с которыми, как показывает пример Молодого Шивелуча, а также работа на конусе вулкана Ключевской, легко спутать обвалы! [21, 22]*

Тем не менее, все геоморфологические доводы авторов о характере вулканической деятельности были отвергнуты на основе одних только терминологических разногласий. Камнем преткновения оказалась ставшая классической классификация геоморфологических процессов. Так, одним из наиболее авторитетных специалистов по вулканической геоморфологии было высказано утверждение, что поскольку вулканизм относится к эндогенным процессам, называть образованные им морфоструктуры экзогенными куполами недопустимо. Употребление этого термина многочисленными зарубежными авторами, равно как и отечественными вулканологами-первопроходцами свидетельствует, по его мнению, только об их геоморфологической безграмотности.

Для того чтобы разобраться в этой проблеме следует сделать небольшой экскурс в лингвистику и историю. С лингвистической точки зрения прилагательное «экзогенный» (буквально – «порожденный извне» (греч.)) не имеет абсолютного и универсального определения. Оно дает лишь относительную характеристику объекта равно как, например, прилагательные-определители пространственных отношений: внутренний и внешний. При помощи таких прилагательных устанавливаются отношения двух объектов. Вулканический купол сам по себе не может быть ни эндогенным, ни экзогенным. В работе Х. Вильямса [8] эта характеристика дается по отношению к вулканической постройке.

Такое применение термина «экзогенный» в геологии имеет давнюю традицию: впервые именно в таком значении его использовал Ч. Лайель

для описания процесса роста вулкана Этна (Италия) [23]. В современном же геоморфологическом значении – по отношению ко всей земной тверди термины «эндогенный» и «экзогенный» были введены для характеристики геоморфологических процессов в работе А. Пенка [24], в которой без каких-либо определений и дальнейших выводов было указано, что ее автор экзогенными называет процессы преобразования горных пород и их перемещения, а эндогенными – движения литосферы и магматизм.

Соответствующие определения этих терминов и концептуальные представления на их основе были представлены в работе В. Пенка [25]. И.С. Шукин [1] отмечал предвосхищение этих представлений в опередившей свое время работе [26] М.В. Ломоносова и отдавал предпочтение использованным в ней отечественным терминам «внутренний» и «внешний», очень хорошо согласующимся с определениями В. Пенка. Следует отметить, что работа [24] не переводилась с немецкого на другие языки, а [25] была переведена на английский только в 1953 г., на русский – в 1961 г. и таким образом, скорее всего, обе они не были известны авторам работ [8, 14–17].

Таким образом, данное противоречие в определениях является исключительно кажущимся: просто необходимо глубоко понимать значение этих терминов, а также то, по отношению *к чему* в каждом конкретном случае они характеризуют предмет обсуждения – *к вулканической постройке или к Земле в целом*.

И вот тому доказательство: 3 июня 2007 г. в Долине Гейзеров произошел крупный обвало-оползень (объем перемещенных пород – 17 млн. м<sup>3</sup>). В результате ревизии аэрофотосъемочных материалов на район обрушения было установлено, что событие являлось хорошо подготовленным: оно произошло по трещинам отседания склона, отчетливо распознаваемым на всех имеющихся аэрофотоснимках, начиная с 1970-х гг. [27]. Удивительным на первый взгляд является тот факт, что оно не произошло на десять лет раньше – во время известного Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г., имевшего магнитуду 7,7 и ощущавшегося как 5-балльное даже в городах Петропавловск-Камчатский и Елизово – за 300 км от эпицентра, в то время как Долина Гейзеров находилась к нему в два раза ближе.

В результате наземных полевых исследований [28] было установлено, что породы обрушившегося склона представляют собой гидротермально измененные туфы, имеющие очень низкую прочность. Устойчивость склона обеспечивалась только за счет мерзлоты. В месте отрыва пород имеются признаки интенсификации гидротермальной деятельности, в результате которой происходило постепенное оттаивание участка склона, завершившееся непосредственно перед обрушением.

Событие представляло реальную опасность для гостей Долины: оползевыми массами были уничтожены участки настильных троп, на которых не оказалось туристов только по счастливой случайности, а также несколько хозяйственных построек, в том числе термальная баня, в которую в момент обрушения направились, но к счастью не успели дойти вертолетчики. Оползневые массы трехметровой стеной остановились в нескольких метрах от вертолета и вплотную к главному зданию, в котором в тот момент находились все посетители Долины Гейзеров и инспектора Кроноцкого государственного биосферного заповедника.

Любопытно, что сам В. Пенк при разработке принципов своей классификации гидротермальные процессы не рассматривал вообще, а наиболее близкие к ним вулканические хоть и причислял к эндогенным, но в силу, по его мнению, их ограниченного геоморфологического значения, а также – ради простоты определений отбрасывал их из общей характеристики эндогенных процессов. Причисление гидротермальных процессов к эндогенным на самом деле принадлежит не В. Пенку, а его последователям. Добиться этого им удалось только ценой коренных изменений определений. По В. Пенку эндогенными являются процессы, заключающиеся в движениях земной коры, а экзогенными – в разрушении ее поверхности. Современные определения исходят совершенно из другого принципа: обусловленности внутренней энергией недр Земли, либо энергией внешних, космических источников совместно с гравитационным притяжением Земли.

Однако авторы настоящей статьи допускают, что если бы В. Пенку был известен пример *гидротермально обусловленного обвало-оползня*, то сам он исходя из составленных им определений мог бы отнести гидротермальные процессы скорее к экзогенным, чем к эндогенным. Пусть эта мысль не кажется кошунственной читателю. Ведь совершенно очевидно, что вопросы определений терминов и принципов классификационных схем являются ничтожными по сравнению с ценой человеческих жизней, которые могут быть потеряны лишь только из-за путаницы связанной с ними. Из-за вызванного этой путаницей ошибочного мнения ученых о типе вулканической деятельности и вследствие этого – недооценке ее опасности. Из-за не проведенного своевременно научного исследования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шукин И.С.* Общая геоморфология. М.: Изд-во МГУ, 1960. Т. 1. 615 с.
2. *Кудинова Т.М.* Опыт и перспективы системно-морфологического картографирования рельефа земной поверхности: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. СПб.: СПбГУ, 16 с.

3. *Двигало В.Н.* Фотограмметрия активных вулканов // Современный вулканизм и связанные с ним процессы / Мат-лы юбилейной сессии КНЦ ДВО РАН, посвященной 40-летию института вулканологии 8–11 октября 2002 г. Петропавловск-Камчатский: Ин-т вулканологии, 2003. С. 47–51.
4. *Двигало В.Н.* Морфологические предвестники (первые признаки) активизации некоторых вулканов Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2000. № 4. С. 3–16.
5. *Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Кирьянов В.Ю. и др.* Вулкан Эбеко (Курильские острова): история эруптивной активности и будущая вулканическая опасность. Часть II // Вулканология и сейсмология. 1993. № 4. С. 24–42.
6. *Борисов О.Г., Борисова В.Н.* Экструзии и связанные с ними газо-гидротермальные процессы. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1974. 200 с.
7. *Пийп Б.И.* Вулкан Кизимен // Бюл. вулканол. станции. 1946. Вып. 13. С. 22–32.
8. *Williams H.* The history and character of volcanic domes // Univ. Calif. Publ. Bul. Dept. Geol. Sci. 1932. V. 21. P. 51–146.
9. *Шанцер А.Е., Кутыев Ф.Ш., Петров В.С.* Вулкан Кизимен // Бюл. вулканол. станций. 1973. Вып. 49. С. 29–35.
10. *Мелекесцев И.В., Пономарева В.В., Волюнец О.В.* Вулкан Кизимен (Камчатка) – будущий Сент-Хеленс? // Вулканология и сейсмология. 1992. № 4. С. 3–32.
11. *Двигало В.Н., Мелекесцев И.В., Шевченко А.В., Свирид И.Ю.* Извержение 2010–2012 гг. вулкана Кизимен – самое продуктивное (по данным дистанционных наблюдений) на Камчатке в начале XXI. Часть I. Этап 11.11.2010–11.12.2011 гг. // Вулканология и сейсмология. 2013. № 6. С. 3–21.
12. *Горбач Н.В.* Первый лавовый поток на экструзивном куполе вулкана Шивелуч, 2004 г. // Вулканология и сейсмология. 2006. № 2. С. 9–16.
13. *Гирин О.А., Демянчук Ю.В., Маневич А.Г.* Активность вулкана Шивелуч по видео и спутниковым данным // Вулканизм и геодинамика / Мат-лы V Всерос. симпоз. по вулканологии и палеовулканологии. Екатеринбург, 21–25 ноября 2011 г. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2011. С. 410–413.
14. *Пийп Б.И.* Материалы по геологии и петрографии района рек Авачи, Рассошины, Гаванки и Налачевы на Камчатке // Тр. Камчатской комплексной экспедиции 1936–1937 гг. 1941. Вып. 2. 132 с.
15. *Пийп Б.И.* Новое эруптивное состояние вулкана Шивелуч с конца 1944 по май 1945 гг. и некоторые замечания о геологической структуре этого вулкана и его прошлых извержениях // Бюл. вулканол. станции на Камчатке. 1948. № 14. С. 38–51.
16. *Меняйлов А.А.* Вулкан Шивелуч – его геологическое строение, состав и извержения // Тр. лаборатории вулканологии АН СССР. 1955. Вып. 9. С. 3–262.

17. *Влодавец В.И.* О вулканологической терминологии // Бюл. вулканол. станции. 1954. № 21. С. 43-46.
18. *Шевченко А.В., Свирид И.Ю.* Геоморфологические особенности формирования современного купола вулкана Молодой Шивелуч // Мат-лы XI Регион. молодежной науч. конф. «Исследования в области наук о Земле». 26 ноября 2013 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2013. С. 45-60.
19. *Шевченко А.В., Свирид И.Ю.* Обвальные процессы на современном куполе вулкана Молодой Шивелуч // Мат-лы XIII Регион. молодежной науч. конф. «Природная среда Камчатки». Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2014. С. 129-142.
20. *Двигало В.Н., Свирид И.Ю., Шевченко А.В. и др.* Состояние активных вулканов Северной Камчатки по данным аэрофотосъемочных облетов и фотограмметрической обработки снимков 2010 г. // Мат-лы регион. конф., посвященной дню вулканолога // Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2011. С. 26-36.
21. *Овсянников А.А., Маневич А.Г.* Извержение вулкана Шивелуч в октябре 2010 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. № 2 (16). С. 7-9.
22. *Двигало В.Н., Мелекесцев И.В.* Крупные современные обвалы на конусе вулкана Ключевской по результатам ревизии последствий событий 1944-1945 и 1984-1985 гг. // Вулканология и сейсмология. 2000. № 1. С. 3-17.
23. *Lyell Ch.* Principles of geology, being an attempt to explain the former changes of the Earth's surface, by reference to causes now in operation. London: John Murray, 1833. V. 3. 398 p.
24. *Penck A.* Morphologie der Erdoberfl che. Teil 1. Stuttgart: Verlag von J. Engelhorn, 1894. 471 s.
25. *Penck W.* Die morphologische analyse: ein kapitel der physikalischen geologie Stuttgart: J. Engelhorn's nachf., 1924. 283 s.
26. *Ломоносов М.В.* О слоях земных и другие работы по геологии. М.: Госгеолтехиздат, 1949. 212 с.
27. *Двигало В.Н., Мелекесцев И.В.* Геолого-геоморфологические последствия катастрофических обвальных и обвально-оползневых процессов в Камчатской Долине Гейзеров (по данным аэрофотограмметрии) // Вулканология и сейсмология. 2009. № 5. С. 24-37.
28. *Kiryukhin A.V., Rychkova T.V., Dubrovskaya I.K.* Formation of the hydrothermal system in Geysers Valley (Kronotsky Nature Reserve, Kamchatka) and triggers of the Giant Landslide // Applied Geochemistry. 2012. V. 27. Iss. 9. P. 1753-1766.



**Свирид И.Ю., Шевченко А.В. Перспективы и проблемы интеграции геоморфологии и фотограмметрии**

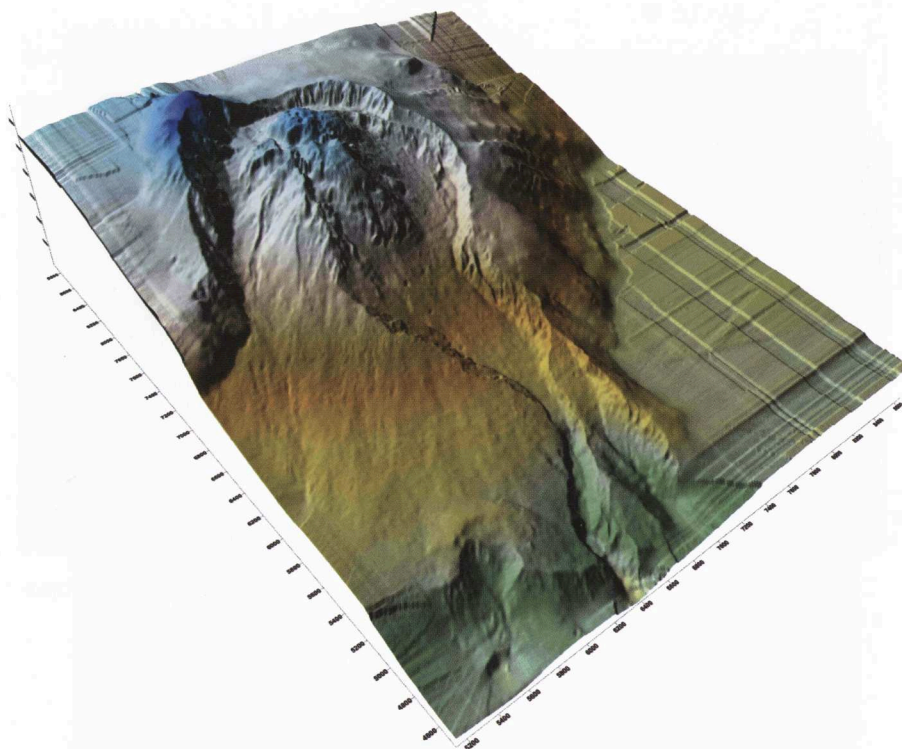


Рис. 2. Изображение цифровой модели рельефа вулкана Молодой Шивелуч, построенной по данным стереофотограмметрической обработки снимков 12.07.2012 г. Отчетливо видна шарра, образовавшаяся в результате обвала 27.10.2010 г., заполняющаяся материалом экзогенных куполов