

## МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ШЛАКОВЫХ КОНУСОВ ТОЛБАЧИНСКОГО ДОЛА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

М.Д. Гиличинский<sup>1</sup>, Д.В. Мельников<sup>2</sup>, И.В. Мелекесцев<sup>2</sup>, М. Инбар<sup>3</sup>, Н.Е. Зарецкая<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Департамент лесных ресурсов и геоинформатики, SLU, Умео, Швеция,  
e-mail: michael.gilichinsky@srh.slu.se

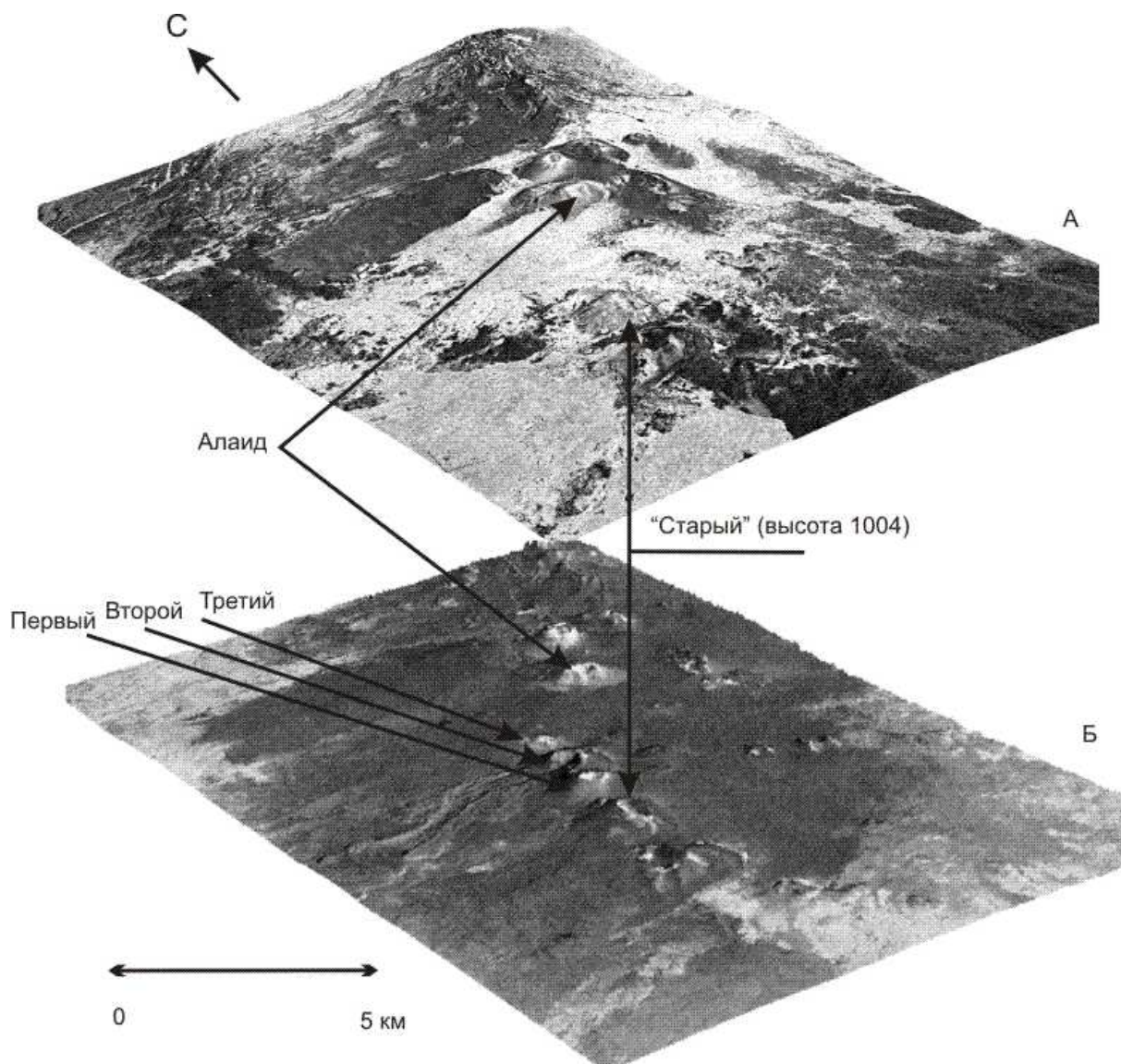
<sup>2</sup> Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,  
e-mail: dvm@kscnet.ru

<sup>3</sup> Департамент географии и изучения окружающей среды, Университет Хайфа, Хайфа, Израиль

<sup>4</sup> Геологический институт РАН, Москва

Эволюция ландшафтов во времени является одним из ключевых вопросов современных геологических, палеогеографических и геоморфологических исследований. Элементарные формы вулканического рельефа, такие, как шлаковые конусы, как единичные, так и сконцентрированные в зонах моногенного или ареального вулканизма, разного возраста, строения и расположенные в разных климатических условиях, представляют собой прекрасную возможность для изучения процессов их разрушения и преобразования рельефа с момента образования конусов до настоящего времени. Шлаковые конусы представляют собой простейшие и наиболее часто распространенные формы вулканического рельефа. Скорость полного разрушения шлаковых конусов зависит от многих факторов, но более всего от климатических факторов, но, как правило, даже в самых благоприятных условиях не превышает первых миллионов лет. Морфометрические и морфологические методы исследований оказались достаточно хорошим инструментом для определения относительного возраста шлаковых конусов и степени их разрушения [Wood, 1980b; Hooper, 1995; Inbar and Risso, 2001; Parrot, 2007]. При подобных исследованиях производятся измерения морфометрических параметров конусов – относительной высоты, диаметра основания, крутизны склона и отношения между собой этих параметров.

Данные для морфометрических измерений могут быть получены с топографической карты, при полевых исследованиях, а также на основе информации дистанционного зондирования Земли. В данной статье, оценивается возможность использования именно данных дистанционного зондирования Земли для морфометрических измерений современных шлаковых конусов Толбачинского дола на Камчатке. Для большинства голоценовых шлаковых конусов этого района существуют тефрохронологические и радиоуглеродные датировки. Таким образом, имея информацию о возрасте их образования, мы можем сравнить основные морфометрические показатели старых конусов и конусов, появившихся здесь в 1975-1976 гг. В работе рассматриваются морфометрические характеристики 9 шлаковых конусов Толбачинского дола, полученных по данным их трёх различных источников – Цифровой Модель Рельефа (ЦМР) на основе стереоизображения со спутника TERRA ASTER, радиолокационных данных (SRTM) и данных полевых GPS измерений. Для каждого конуса были рассчитаны следующие показатели – высота (h), средняя крутизна склона (s), наибольший диаметр основания (dmj), наименьший диаметр основания (dmi), соотношение высота-ширина (h/D), где  $D=(dmj+dmi)/2$ . Данные GPS измерений (координаты на местности и высота над уровнем моря) использовались для геодезической коррекции спутниковых снимков и ЦМР, а также для уточнения морфометрических параметров (всего 45 контрольных точек). Было произведено сравнение морфометрических параметров полученных с ЦМР ASTER и ЦМР SRTM. Результаты сравнения показали хорошую корреляцию между данными цифровых моделей рельефа и полевыми измерениями. Таким образом, данное исследование представляет основу для создания калибровочной модели, которая позволит соотнести между собой данные абсолютных возрастных датировок и относительное датирование на основе морфометрических показателей. Сочетание данных дистанционного зондирования, ЦМР и исторических топографических данных позволяет производить оценки изменений вулканических ландшафтов до и после извержения (рис. 1).



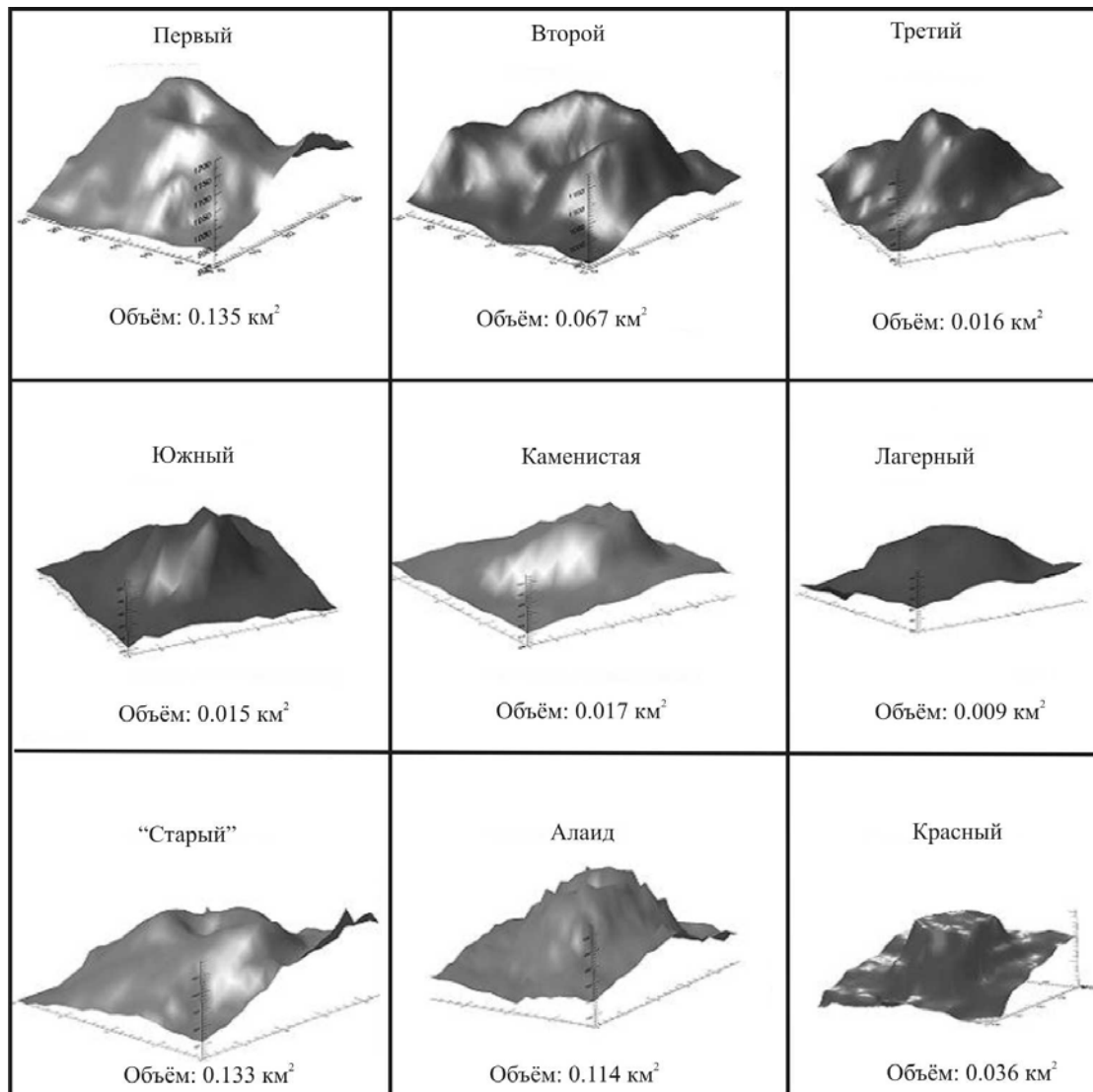
**Рис. 1.** Перспективное изображение района БТТИ до и после извержения. Цифровая модель рельефа, драпированная космическим снимком КН-9 28 июня 1975 г. (А). Цифровая модель рельефа, основанная на данных ASTER и драпированная космическим снимком Landsat ETM+ 9 сентября 2001 г.

Шлаковые конуса Толбачинского дола являются одними из наиболее молодых вулканических форм рельефа Камчатки. Толбачинский дол расположен в юго-западной части Ключевской группы вулканов, состоит из множества шлаковых конусов, лавовых потоков общей площадью 875 км<sup>2</sup>, образовавшихся в последние 10-11 тыс. лет на высоте от 200 до 2500 метров над уровнем моря.

Наиболее свежее извержение (БТТИ) произошло в 1975-1976 гг., в результате которого были образованы 4 новых шлаковых конуса. В голоцене здесь насчитывается около 60 подобных событий. За последние 2 тыс. лет было образовано большое количество конусов, сложенных магнезиальными базальтами, к которым относятся и молодые конуса Северного прорыва БТТИ. Конусы, сформированные ранее толеитовыми базальтами, значительно меньше по размеру и объёму. Несмотря на достаточно короткий период времени, за который образовались конуса Толбачинского дола (10-11 тыс. лет), их морфология (особенно старых конусов) значительно изменилась. Кроме того стало известно [Федотов и др., 1984], что заметные изменения морфологии молодых конусов Северного прорыва БТТИ произошли сразу по окончании извержения в течение нескольких лет.

В нашей работе мы проанализировали морфологию и параметры следующих шлаковых конусов: 1. Первый (1975 г.), 2. Второй (1975 г.), 3. Третий (1975 г.), 4. Южный (1975-1976 гг.), 5. Красный (1740 г.), 6. Алаид (~ 1000 г.), 7. Каменистая (~ 650 г.), 8. Лагерный (~ 600 г.), 9. «Старый», высота 1004 (~ 500 г.).

Морфометрические параметры шлаковых конусов были рассчитаны на основе Цифровой модели рельефа, полученной из стереопары спутникового снимка ASTER (Рис. 2), с пространственным разрешением 15 метров. Полученные данные были сопоставлены с данными на основе топографической карты 1:25000 масштаба. Для уточнения данных ЦМР использовалось более 40 точек полевых GPS измерений.



**Рис. 2.** Трёхмерное изображение шлаковых конусов и расчёт их объёмов на основе ЦМР ASTER.

Параметры относительной высоты шлаковых конусов, рассчитанных на основе ЦМР ASTER и ЦМР SRTM (пространственное разрешение 90 метров), оказались приблизительно равны и расположены в пределах от 50 до 250 метров. Основные морфометрические показатели, рассчитанные на основе ЦМР ASTER (крутизна склона и соотношение высота/основание), показывают прямую корреляционную зависимость между морфологией (степень денудации) и возрастом конусов. Для всех молодых конусов характерной чертой является крутизна склона, близкая к углу естественного откоса. В среднем, крутизна склона для молодых конусов составляет ~ 31,9 градусов, а для старых конусов этот параметр составляет ~ 26 градусов (Таблица 1). Средние соотношения высота/основание следующие: 0,22 (по данным ASTER) и 0,18 (по данным SRTM) для молодых конусов; 0,17 (данным ASTER) и 0,15 (по данным SRTM) для старых конусов. Возможной причиной несоответствия соотношения высота/основание для Третьего конуса и конуса Красный может быть достаточно сложная морфология этих построек, что несомненно сказывается на точности измерений.

Морфометрические измерения на основе ЦМР ASTER показали более высокую точность по сравнению с измерениями на основе ЦМР SRTM.

			Объём, км <sup>3</sup>	Высота конуса (h), м		Крутизна склона (s), градусы		Средний диаметр основания (D), м		Соотношение высота - основание (h/D)	
				ASTER	карта	ASTER	карта	ASTER	карта	ASTER	карта
Молодые конуса	1	Первый	0.135	239	228	32.4	32.0	1125	1050	0.21	0.22
	2	Второй	0.067	205	211	32.7	31.8	800	870	0.26	0.24
	3	Третий	0.016	97	95	31.5	32.0	533	525	0.18	0.18
	4	Южный	0.015	117	113	31.2	31.0	550	550	0.21	0.21
«Старые» конуса	5	Красный	0.036	202	138	29.1	29.5	810	700	0.25	0.20
	6	Алаид	0.114	226	230	28.8	32.0	1409	1325	0.16	0.17
	7	«Старый» высота 1004	0.120	96	107	26.9	27.7	901	825	0.12	0.13
	8	Лагерный	0.009	56	70	25.2	23.5	425	500	0.13	0.14
	9	Каменистая	0.017	107	109	21.6	23.0	603	650	0.18	0.17

**Таблица 1.** Морфометрические параметры девяти шлаковых конусов Толбачинского дола, рассчитанные на основе ЦМР ASTER и топографической карты 1:25000 масштаба.

Результаты морфометрических измерения, представленные в этой работе, являются основой для дальнейших работ по определению относительного возраста шлаковых конусов.

Авторы выражают благодарность Институту вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, за оказание помощи при проведении полевых работ. Эта работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных исследований, грант № 06-05-72008 и Министерства науки и техники Израиля, грант № 3-3572.

#### Список литературы

- Федотов С.А.** и др. Большое трещинное Толбачинское извержение, Камчатка, 1975-1976. М.: Наука, 1984.
- Hooper D. M.,** Computer-simulation models of scoria cone degradation in the Colima and Michoacan-Guanajuato volcanic fields, Mexico, *Geofisica Internacional*, 1995. 34(3). P. 321-340.
- Inbar M., Rizzo C.** A morphological and morphometric analysis of a high density cinder cone volcanic field – Payun Matru, south-central Andes, Argentina, *Z. Geomorph. N. F.*, 2001. 45(3). P. 321-343.
- Parrot JF** Tri-dimensional parameterization: an automated treatment to study the evolution of volcanic cones // *Geomorphologie*, 2007. 3. P. 247-258.
- Wood C. A.** Morphometric evolution of cinder cones // *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 1980. Vol. 7. P. 387-413.