

УДК 551.432.7+ 528.74

ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ФРАГМЕНТА СКЛАДЧАТОГО СЛОЯ НА ЮЖНОМ СКЛОНЕ
ВУЛКАНА МОЛОДОЙ ШИВЕЛУЧ

Шевченко А.В.

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

Научный руководитель: к.г.н. Лопатин Д.В.

В процессе дешифрирования аэрофотоснимков южного подножия Молодого Шивелуча от 17.11.1964 г. был обнаружен слой отложений, морфология которого не согласуется с представлениями о недавней активности вулкана. Складчатая структура поверхности и характерная форма залегания отложений позволяют предположить, что они сформировались в результате вязкопластического течения. Выполнено подробное описание поверхности и формы наиболее крупного фрагмента изучаемого слоя. Посредством фотограмметрического метода построена цифровая модель рельефа (ЦМР) исследуемого фрагмента отложений, получены его морфометрические характеристики. Приведены аргументы против предполагаемой ранее гипотезы формирования складок на поверхности отложений в результате надвига обвальной лавины 1964 г.

Ключевые слова: вулкан Молодой Шивелуч, отложения, складки, дешифрирование аэрофотоснимков, фотограмметрия

ВВЕДЕНИЕ

12.11.1964 г. на вулкане Молодой Шивелуч произошло катастрофическое извержение [1], спустя пять дней после которого 17.11.1964 г. сотрудниками Института вулканологии Л.Б. Дмитриевым и Г.С. Штейнбергом была выполнена аэрофотосъемка части поля отложений. Кроме отложений извержения 1964 г. на материалах этой аэрофотосъемки зафиксированы отложения более ранних событий, представленные двумя слоями: нижний – отложения обвальных лавин, верхний – складчатые отложения, возможно, сформированные вязкопластическим течением [2]. В настоящей работе показаны результаты фотограмметрического исследования самого крупного фрагмента верхнего слоя отложений, выполненного впервые по аэрофотоснимкам Л.Б. Дмитриева и Г.С. Штейнберга.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Аэрофотосъемка от 17.11.1964 г. была выполнена Л.Б. Дмитриевым и Г.С. Штейнбергом с применением аэрофотоаппарата АФА-41/10. Масштаб снимков различен: от 1:400 до 1:25 000.

В результате обработки снимков в цифровой фотограмметрической системе PHOTOMOD 4.3. была построена ЦМР наиболее крупного открытого фрагмента складчатого слоя отложений, подстилающих отложения 1964 г. Координаты опорных и контрольных точек определялись по ориентированной модели этого района, построенной по снимкам от 24.08.1993 г. В качестве опорных точек использовались четкие ориентиры (точно опознанные грани наиболее крупных и стабильных камней). На основе построенной ЦМР определены морфометрические характеристики исследуемого фрагмента отложений. Оценка точности внешнего ориентирования показала, что погрешность в построении модели не превышает 1 м.

МОРФОЛОГИЯ СКЛАДЧАТОГО СЛОЯ

Складчатый слой отложений впервые точно и полностью закартографирован в настоящей работе (рис. 1).

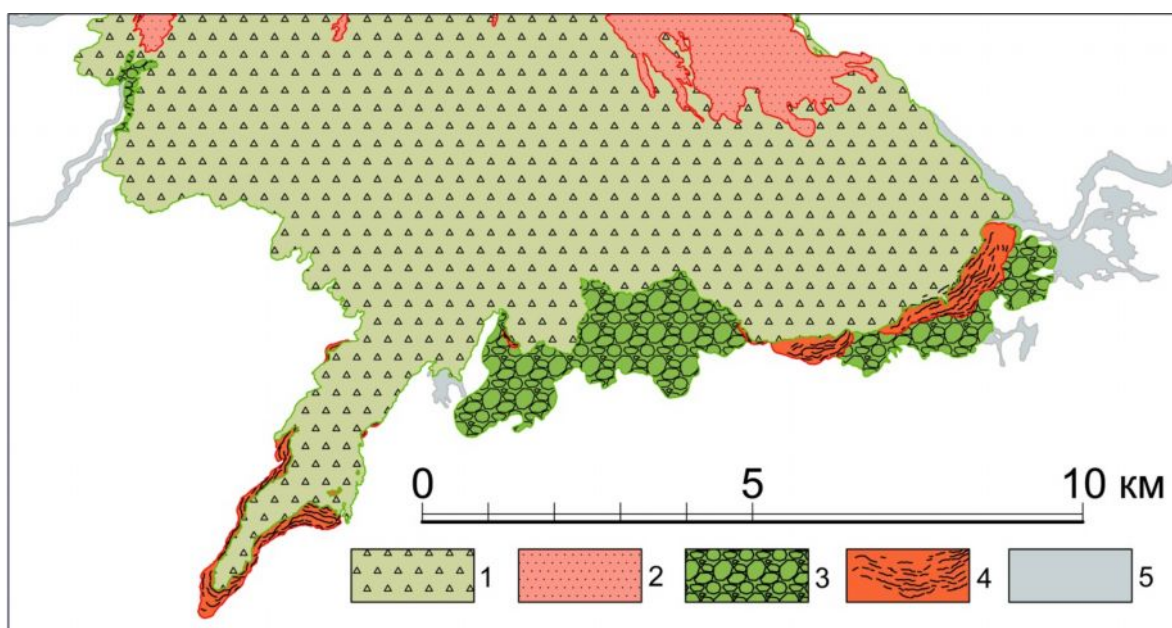


Рис. 1. Фрагмент карты отложений Молодого Шивелуча: 1 – отложения грубообломочных лавин 1964 г.; 2 – отложения пирокластических потоков 1964 г.; 3 – грубообломочные отложения, сформированные до извержения 1964 г.; 4 – складчатые отложения; 5 – отложения лахаров.

Он выступает фрагментами из-под обвальных отложений 1964 г. Два крупных фрагмента с размерами $1,2 \times 0,4$ и $2,5 \times 0,6$ км расположены в пределах восточного участка нижнего слоя. Третий, наиболее крупный, с размерами $5,5 \times 1,2$ км, является основой узкого выступа, протягивающегося к ЮЗ от центральной части поля отложений 1964 г. Границы этого фрагмента четко выражены, мощность по фронту достигает 14 м, на отдельных участках по флангам – 20 м. В центральной части по линии движения выделяется просадка, которая впоследствии была заполнена обвальным материалом извержения 1964 г. По краям заполнения глубина просадки достигает 3 м (рис. 2).

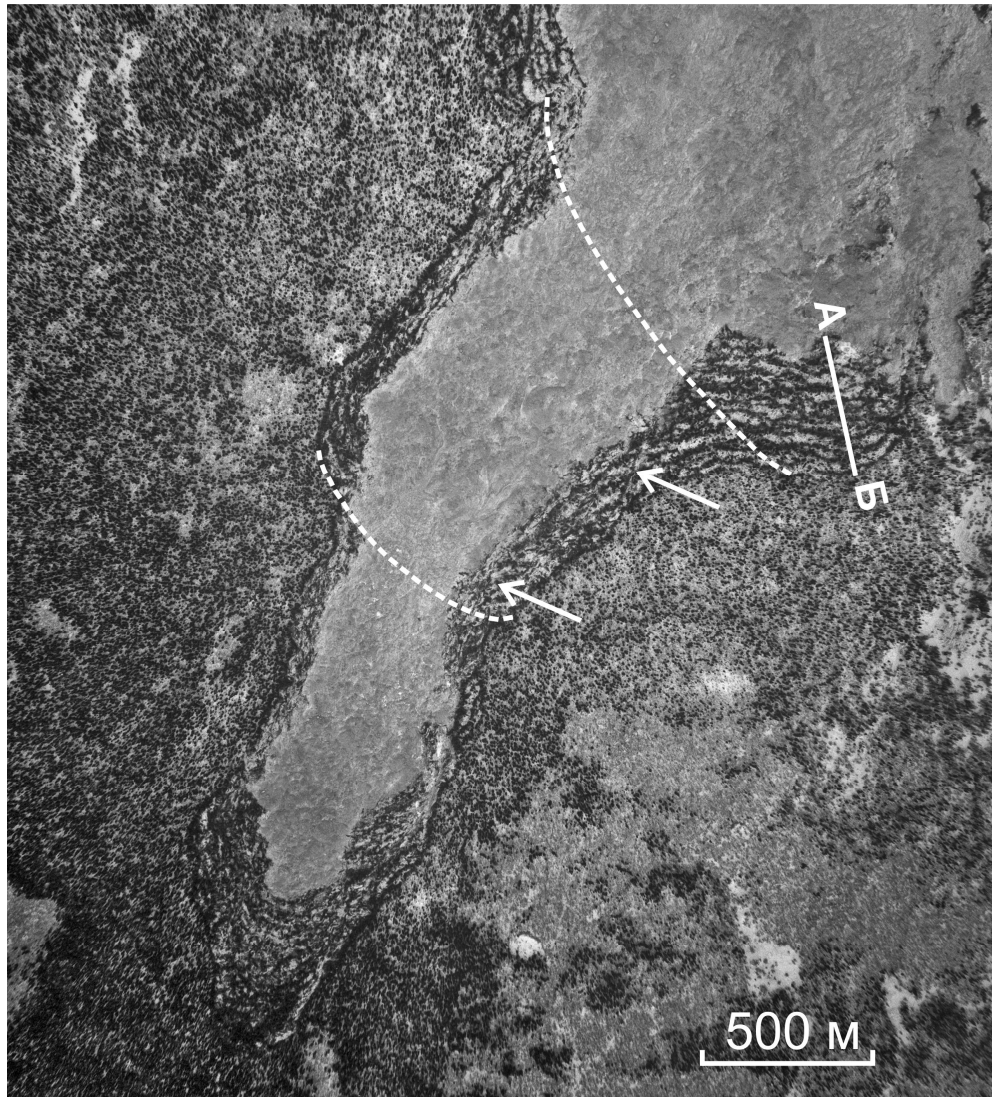


Рис. 2. Юго-западный фрагмент складчатого слоя. Пунктирной линией обведены положения предшествующих фронтов, стрелками обозначены трещины сдвига, А-Б – линия профиля, представленного на рис. 4. Фото Л.Б. Дмитриева и Г.С. Штейнберга, 17.11.1964 г.

Построенная фотограмметрическим методом ЦМР изучаемого фрагмента наглядно отображает его морфологию (рис. 3).



Рис. 3. Визуализация ЦМР исследуемого фрагмента отложений.

Структура поверхности исследуемого слоя отложений резко отличается от структур всех других поверхностей отложений Шивелуча и представляет систему субпараллельных линейных складок, вытянутых преимущественно вдоль фронтальных линий фрагментов этого слоя. На флангах этих фрагментов, особенно на менее пологих участках, складки вытянуты вдоль линии склона в виде бортовых валов. Поперечные размеры складок на исследуемом фрагменте различны: длины волн меняются в

пределах от 11 до 36 м, а высоты – от 2,5 до 11 м. Большая часть складок – прямые: их осевые поверхности вертикальны, а крылья симметричны. Углы складок варьируются в пределах от 69 до 114°. На основе ЦМР был построен профиль по наиболее протяженному участку складчатого слоя (рис.4).

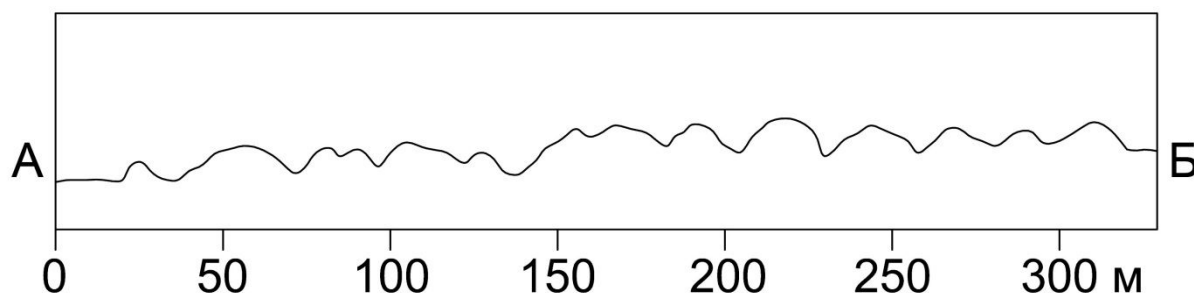


Рис. 4. Профиль складчатого слоя отложений. Положение профиля показано на рис. 2.

Сложная форма залегания исследуемого фрагмента свидетельствует о том, что его формирование происходило в несколько этапов. Сначала его фронт был выше, боковые области вблизи фронта стабилизировались быстрее и начали затвердевать, в то время как центральная часть продолжала постепенно пополняться новым, поступающим из вышерасположенных областей, материалом. Затем фронтальная часть слоя была прорвана, и материал его центральной части спустился далее – вниз по склону. Такая последовательность событий повторилась еще раз, после чего материал окончательно остановился. Предложенный сценарий может также подтверждаться наличием двух трещин сдвига, расположенных на восточном фланге объекта ниже первого фронта (рис. 2). Вероятно, что эти трещины образовались при сдвигании затвердевшей поверхности боковой части вниз по склону под давлением накапливающегося пластичного материала. Произрастающие в этих трещинах деревья указывают на то, что они сформировались задолго до извержения 1964 г.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Ранее предполагалось, что складки на поверхности верхнего слоя являются следствием так называемого "динамического удара" эксплозивно-обвальной лавины 1964 г. [3]. Однако в действительности складки образо-

вались намного раньше 1964 г., так как на аэрофотосъемке от 17.11.1964 г., выполненной через пять дней после извержения, зафиксировано, что в этих складках (местами и на гребнях складок) произрастают деревья высотой около 10 м, стволы которых стоят вертикально и не имеют следов повреждений (рис. 5а, 5б). Следовательно, извержение 1964 г. не может иметь никакого отношения к происхождению складок.

Также отсутствует корреляция между направлением складок и линией фронта отложений 1964 г. Хорошо видно как складки продолжают под поверхностью обвальной лавины 1964 г. и заходят под нее практически под прямым углом (рис. 5б). Кроме того, "динамический удар" был невозможен по причине очень малой мощности фронта обвальных отложений на этих участках (1-е метры). В то время как на участках, примыкающих к фронту отложений 1964 г. большой мощности (до 15 м), каких либо складок не наблюдается (рис. 5в). На рис. 5г отчетливо видно, как крупные складки проступают сквозь маломощную поверхность обвальной лавины 1964 г. на удалении от фронта. Трудно представить, чтобы обвальная лавина мощностью до 3 м и средней шириной около 400 м (на исследуемом узком фрагменте),двигающаяся с небольшой скоростью [2], сформировала вдоль своих боковых частей на подстилающей поверхности складчатые участки мощностью до 20 м и шириной до 370 м.

В работе [5] представлены типичные надвиговые складки, которые образовывались на поверхности кратера вулкана Сент-Хеленс при движении экструзивного материала, а также в результате землетрясения 1968 г. на западе Австралии. Такие складки являются лежачими, их осевая поверхность субгоризонтальна. Автор настоящей работы полагает, что в случае ударного воздействия лавины 1964 г. вдоль ее фронта на подстилающей поверхности могли бы образоваться типичные надвиговые складки, но никак не прямые, которые на этой поверхности в действительности присутствуют.

На основании приведенных фактов мы можем заключить, что не обвальная лавина 1964 г. сформировала эту поверхность, как считалось ранее [3], а наоборот форма залегания обвального материала была обусловлена

рельефом уже существовавшей здесь поверхности, предопределившим движение лавины 1964 г. так, что ее материал продвигался вперед и накапливался в участках локальных понижений, задерживаясь при столкновениях со складками.

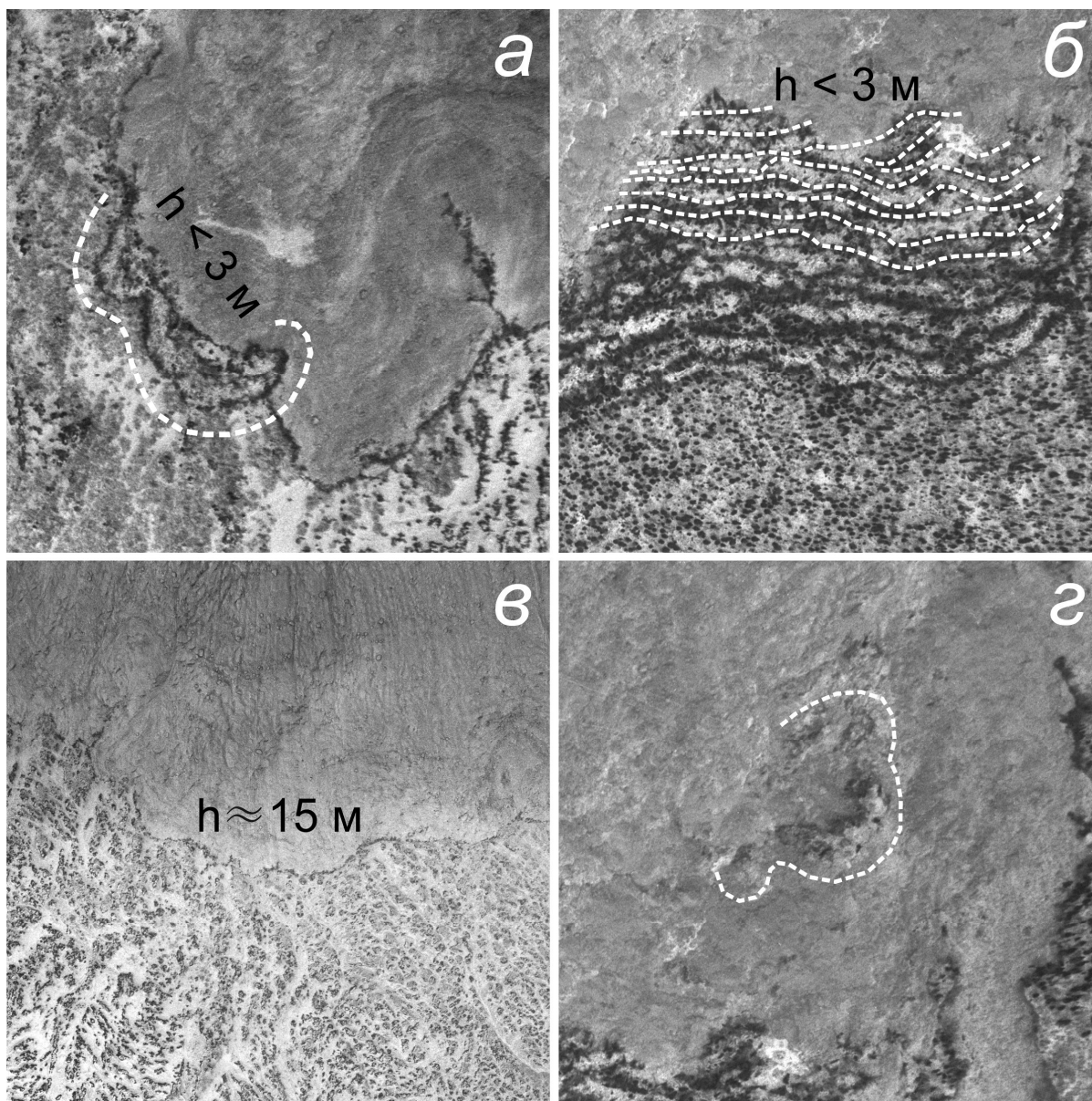


Рис. 5. Структурные элементы отложений, указывающие на формирование складок до извержения 1964 г.: *а* – обтекание маломощной обвальной лавиной уже существующих складок большой мощности (до 25 м), показанных пунктирной линией; *б* – отсутствие корреляции складок, выделенных пунктиром, с линией фронта обвальной лавины; *в* – на отложениях, граничащих с фронтом обвальной лавины большой мощности, складок не наблюдается; *г* – складки, отмеченные пунктирной линией, выступают сквозь поверхность обвальной лавины 1964 г. Фото Л.Б. Дмитриева и Г.С. Штейнберга, 17.11.1964 г.

В статьях [4, 6, 7] вся поверхность, граничащая с фронтом отложений 1964 г., интерпретируется как отложения обломочных лавин изверже-

ния 1430 г. (по данным тефрохронологического анализа). Однако область, обозначенная авторами указанных статей как отложения материала этого извержения, в действительности включает в себя несколько участков различных по возрасту и по типу отложений. Отложения на западном участке отличаются от остальных более древним возрастом, так как произведенный в работе [2] анализ растительного покрова показал, что лес на этом участке имеет возраст не менее 300–400 лет.

Другие участки, покрытые сравнительно молодой растительностью, представлены двумя типами отложений: грубообломочными и сформированными, по всей вероятности, вязкопластическим течением [2]. Кроме того, в статьях [4, 6, 7] отсутствуют точные координаты пунктов производимых геологических работ и отбора материала. Только один из изученных разрезов, показанных точками на карте в работе [7], лежит в пределах складчатого слоя у самой границы с отложениями обвальной лавины 1964 г. Так как граница отложений на этом участке является нечеткой (складчатая поверхность присыпана отложениями обвальной лавины), а описание этого разреза в работах отсутствует (не указана даже его глубина), мы не можем быть уверены в том, что образцы материала складчатых отложений могли быть отобраны и изучены авторами предыдущих работ. Нечеткость границы отложений обвальной лавины на этом участке была также отмечена в работе [7].

Что касается ЮЗ фрагмента складчатого слоя, подстилающего узкий выступ отложений 1964 г., то ранее он не был описан ни в одной из работ предшественников. Таким образом, мы можем заключить, что данные складчатые отложения являются недостаточно исследованными в геологическом и стратиграфическом отношении.

К сожалению, материалы аэрофотосъемки подножий Молодого Шивелуча, выполнявшейся в 40-х гг. для создания карт, нам не доступны, поэтому остается лишь предполагать, какими были форма и расположение исследуемого образования до извержения 1964 г.

По морфологии и способу залегания описываемый фрагмент более всего походит на лавовый поток. Однако исходя из современных геологических данных для Молодого Шивелуча совершенно нетипично образование лавовых потоков таких размеров (19,9 км длиной) и форм. Поэтому на

основе только дешифрирования и фотограмметрической обработки аэрофотоснимков мы не можем утверждать, что описываемое образование является лавовым потоком.

Можно также предположить, что складчатый слой мог быть сформирован в результате течения вязкой грязевой массы. Однако такое явление не менее уникально для Шивелуча, нежели гигантский лавовый поток. В любом случае необходимо выяснить, чем в действительности являются и как образовались описываемые отложения. По мнению автора, ответ на этот вопрос должны дать непосредственные геологические и геофизические исследования.

ВЫВОДЫ

1. По материалам аэрофотосъемки Л.Б. Дмитриева и Г.С. Штейнберга, выполненной через пять дней после извержения 1964 г., впервые были полностью и точно закартографированы все фрагменты складчатого слоя отложений, подстилающих отложения 1964 г.

2. Посредством фотограмметрического метода была построена ЦМР наиболее крупного фрагмента складчатого слоя и определены его морфометрические характеристики.

3. Анализ растительного покрова и форм залегания отложений на крупномасштабных снимках показал, что обвальная лавина 1964 г. не имеет никакого отношения к формированию складок, как предполагалось ранее.

4. Форма залегания и структура поверхности складчатых отложений дают основания предполагать, что они могли быть сформированы в результате вязкопластического течения.

5. Необходимо выяснить, чем в действительности являются и как образовались складчатые отложения посредством комплексных геологических и геофизических полевых работ.

Автор выражает благодарность старшему научному сотруднику Института вулканологии и сейсмологии В.Н. Двигало за помощь в фотограмметрической обработке аэрофотоматериалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горшков Г.С., Дубик Ю.М. Направленный взрыв на вулкане Шивелуч // Вулканы и извержения. 1969. С. 3–37.
2. Двигало В.Н., Шевченко А.В. Новые данные о катастрофических извержениях вулкана Шивелуч 1964 и 1854 гг. по результатам фотограмметрических исследований // Тезисы докладов традиционной региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога, 30 марта–1 апреля 2015 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2015. С. 26–29.
3. Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Курсанова Т.П. и др. 300 лет жизни камчатских вулканов: Молодой Шивелуч (анализ динамики и последствий эруптивной активности в XVII–XX вв.). Часть I. 1650–1964 гг. // Вулканология и сейсмология. 2003. № 5. С. 3–19.
4. Belousov A., Belousova M., Voight B. Multiple edifice failures, debris avalanches and associated eruptions in the Holocene history of Shiveluch volcano, Kamchatka, Russia. 1999. Bull. Volcanol. 61. P. 324–342.
5. Chadwick W.W., Swanson D.A. Thrust faults and related structures in the crater floor of Mount St. Helens volcano, Washington // Geological Society of America Bulletin. 1989. 12. P. 1507–1519.
6. Ponomareva V.V., Melekestsev I.V., Dirksen O.V. Sector collapses and large landslides on late Pleistocene-Holocene volcanoes in Kamchatka, Russia // J. Volcanol. Geotherm. Res. 2006. 158. P. 117–138.
7. Ponomareva V.V., Pevzner M.M., Melekestsev I.V. Large debris avalanches and associated eruptions in the Holocene eruptive history of Shiveluch Volcano, Kamchatka, Russia // Bull. of Volcanol. 1998. 59. P. 490–505.

PHOTOGRAMMETRIC STUDY OF THE FOLDED LAYER FRAGMENT ON
THE SOUTHERN SLOPE OF MOLODOY SHIVELUCH VOLCANO

Shevchenko A.V.

*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS,
Vitus Bering Kamchatka State University*

The interpretation of aerial photographs of the southern slope of Molodoy Shiveluch Volcano taken on November 17, 1964 allowed detecting the layer of deposits, which morphology doesn't agree with the views on the recent activity of the volcano. The folded structure of the surface and special bedding shape of the deposits give grounds for assuming that they were formed as a result of viscoplastic flow. The author performed the detailed description of the surface and shape of the largest fragment of investigated deposits. The Digital Terrain Model (DTM) of the deposits fragment was built and its morphometric characteristics were obtained using photogrammetric method. The paper presents arguments against earlier suggested hypothesis on the formation of the folds as a result of horizontal push by the 1964 debris avalanche.

Keywords: Molodoy Shiveluch Volcano, deposits, folds, interpretation of aerial photographs, photogrammetry