



УДК 551.21

В. В. Пономарева<sup>1</sup>, Н. В. Горбач<sup>1</sup>, Е. А. Зеленин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,  
г. Петропавловск-Камчатский  
e-mail: ponomareva@ksnet.ru*

<sup>2</sup> *Геологический институт РАН, Москва*

## Новые данные о крупномасштабных обрушениях постройки вулкана Шивелуч

В сообщении приведены новые данные о распространении и возрастах отложений обломочных лавин на южном подножии вулкана Шивелуч, полученные в результате полевых исследований 2011–2013 гг. Все лавины распространились на расстояние более 25 км от современного кратера. Впервые на южном подножии установлены отложения двух раннеголоценовых лавин, наиболее крупных за послеледниковое время.

### Введение

Вулкан Шивелуч является одним из крупнейших вулканических центров на Камчатке и вместе со своим подножием занимает площадь более 1000 км<sup>2</sup>. Вулканический массив включает позднеплейстоценовый стратовулкан Старый Шивелуч, нарушенный необычно широким обвальным цирком, и расположенный в цирке действующий эруптивный центр Молодой Шивелуч [3, 5]. Вулканическая деятельность Старого Шивелуча началась несколько раньше 80 тыс. л. н. [7]. Ядро постройки стратовулкана сложено мощной толщей грубообломочных пирокластических отложений и перекрыто потоками лав андезитового и андезибазальтового состава. Источниками излияний лав служили не менее четырёх эруптивных центров, положение которых реконструируется вдоль периметра разрушенного сектора вулкана [2]. Подавляющий объём лав был связан с эруптивными центрами Центральный и Западный, которые расположены в центральной части массива и формировались субсинхронно. Эруптивные центры Байдарный и Южный расположены в юго-западной части постройки и их лавы формируют т.н. Байдарный отрог. Лавы Центрального и Западного центров имеют преимущественно андезитовый состав, а среди лав Байдарного отрога преобладают андезибазальты.

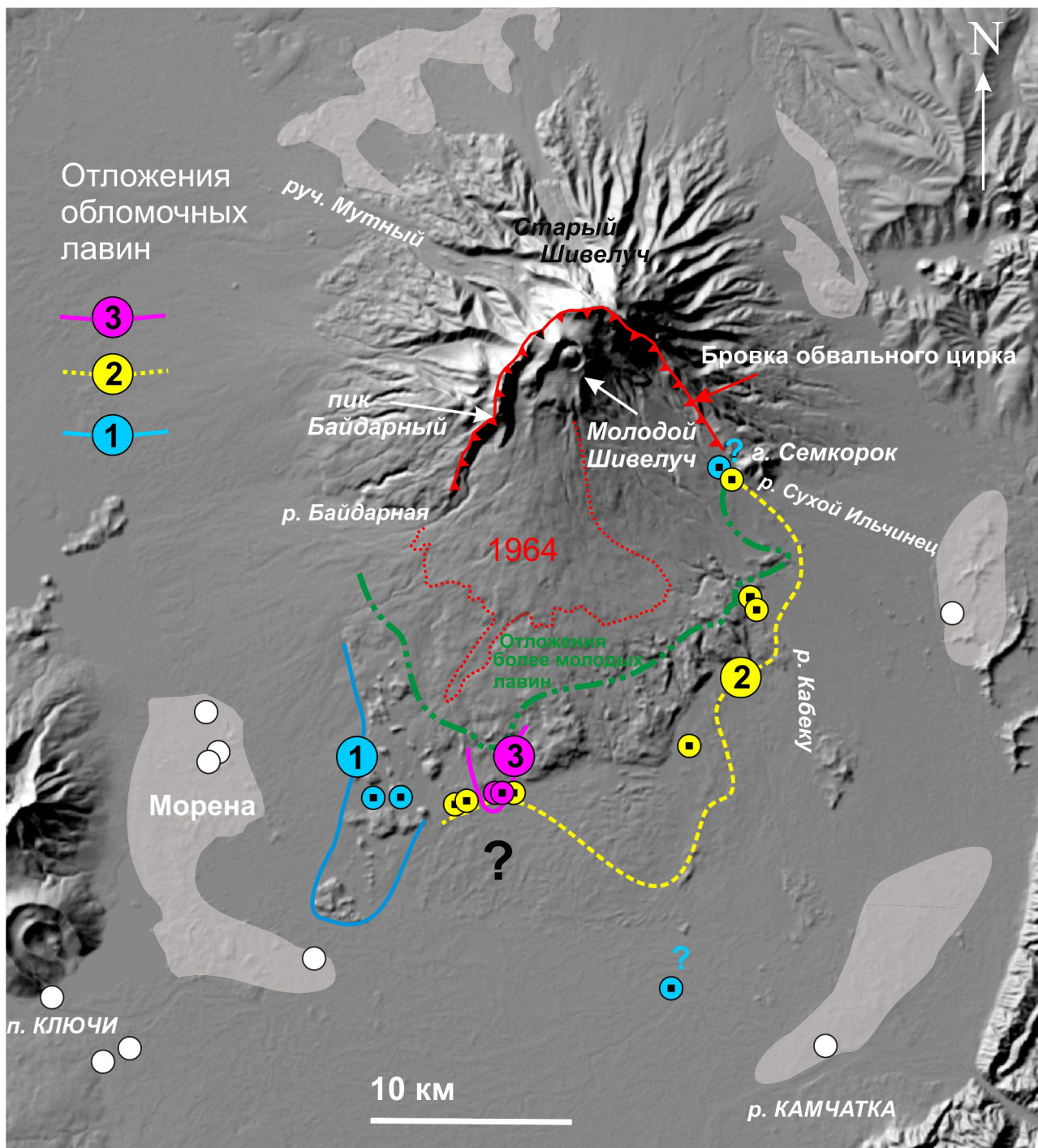
Возраст обрушения южного сектора Старого Шивелуча по-разному оценивался разными авторами. По данным Мелекесцева и др. [3] и Брайцевой и др. [10], обрушение произошло до начала второй стадии верхнеплейстоценового оледенения, наиболее вероятно около 30 тыс. л. н. Такого же мнения придерживались и авторы настоящих тезисов [2, 15]. С другой стороны, Velousov et al. [9] предполагали, что обрушение произошло гораздо позже, около 10 тыс. л. н. Певзнер и др. [6] утверждают, что обрушение состояло, как минимум, из трёх разновозрастных событий, которые произо-

шли между 11 и 16 тыс. л. н. и отложения которых фиксируются как в южном, так и в восточном секторах подножия вулкана. По умолчанию считается, что обширный обвальная цирк образовался в результате первоначального обрушения постройки. Но он вполне мог подновляться и расширяться и в результате более поздних обвалов.

Отложения южного подножия вулкана на расстоянии более 20 км от кратера до сих пор практически не изучались, т. к. эта территория не имеет естественных обнажений и покрыта густым лесом. В 2011–2013 гг. нам удалось описать ряд разрезов отложений этого сектора в выемках вдоль автомобильной дороги (рис. 1). Кроме того, мы посетили несколько обнажений на реке Камчатке и обнажения вдоль рек Кабеку и Сухой Ильчинец. Нами описаны отложения нескольких обломочных лавин и определён их возраст с помощью перекрывающих их ранее датированных горизонтов тефры. Кроме того, было проведено дешифрирование космических снимков КН-9 Hexagon пространственного разрешения 6 м в стереорежиме с применением ПО Photomod 5,0 Lite (ЗАО «Ракурс»), что позволило оценить площади распространения датированных лавин.

### Позднеплейстоценовая обломочная лавина

Обвальная цирк постройки Старого Шивелуча открыт на юг, имеет подковообразную форму и диаметр около 9 км. Отложения, предположительно связанные с первоначальным и самым крупным обрушением южного сектора вулкана, образуют характерный холмистый рельеф, прекрасно выраженный на южном подножии вулкана. Самая длинная цепь холмов тянется в ЮЮЗ направлении от вершины Старого Шивелуча вплоть до р. Камчатка (рис. 1, лавина 1). Наиболее крупные холмы расположены на расстоянии 30–35 км от вершины. Их максимальная относительная высота достигает 120 м, средняя



**Рис. 1.** Положение отложений обломочных лавин, описанных в тексте, и предполагаемые минимальные площади их распространения: 1 — позднеплейстоценовые отложения; 2 — отложения с возрастом ~ 11,7 тыс. лет; 3 — отложения с возрастом ~ 10,4 тыс. лет. Точки, в которых были описаны отложения каждой лавины, показаны тем же цветом, что и её границы. Зелёным штрих-пунктиром показана граница распространения обломочных лавин второй половины голоцена. Морены показаны светлой заливкой, точки наблюдения на них показаны белыми кружками.

составляет 50–75 м. Отложения представлены бесструктурной толщей грубообломочного материала, среди которого резко преобладают роговообманковые и пироксен-роговообманковые андезиты. Объём отложений этой лавины был оценён в  $\sim 30 \text{ км}^3$  [3].

На самых крупных холмах до сих пор не удалось раскопать и описать перекрывающий их почвенно-пирокластический чехол. Однако в ареале распространения крупных холмов удалось описать чехол на двух холмах меньшего размера (рис. 1), которые, по результатам дешифрирования космических снимков, скорее всего, принадлежат этой же обломочной лавине. В основании почвенно-пирокластического чехла на обоих холмах залегают два маркирующих пепла, ПЛ2 и ПЛ1, связанные с извержениями в массиве Плоских сопок. Верхний пепел (ПЛ2) имеет возраст  $\sim 10,2$  тыс. лет (здесь и далее — калиброванный радиоуглеродный возраст), нижний пепел (ПЛ1) имеет возраст  $\sim 11,65$  тыс. лет [18]. Между пеплом ПЛ1 и отложениями обломочной лавины описано ещё около 20 см супесей с неясными прослоями серых и голубовато-серых тонко — и мелкозернистых пеплов, которые могут отвечать более крупнозернистым пеплам, описанным ближе к вулкану в долине р. Сухой Ильчинец и отнесенным к деятельности эруптивных центров Байдарного отрога  $\sim 12–16$  тыс. л. н. [6]. В наших супесях отсутствуют какие-либо яркие маркирующие горизонты пеплов, которые дали бы возможность точно установить время начала формирования почвенно-пирокластического чехла и, соответственно, возраст залегающих под ним отложений обломочной лавины. В целом, строение низа разреза такое же, как и на морене, имеющей возраст  $\sim 23–24$  тыс. лет [3]. Холмы не перекрыты никакими отложениями, которые могли бы трактоваться как ледниковые, но они могли возвышаться над поверхностью ледника. Певзнер и др. [6] сопоставляют крупные холмы с нижней лавиной долины р. Сухой Ильчинец (лафина I) и на этом основании считают, что первоначальный крупный обвал южного сектора постройки Старого Шивелуча произошёл в позднем ледниковье ( $\sim 16$  тыс. л. н.), то есть уже после максимума позднплейстоценового оледенения и после отложения морены. По нашему мнению, сопоставление отложений лавин между ЮВ и ЮЮЗ секторами подножия, хотя и может оказаться верным, в настоящее время не подтверждено данными. Тефрохронологическое же датирование в этом интервале не даёт однозначного ответа о возрасте отложений в связи с отсутствием маркирующих горизонтов.

Таким образом, возраст первоначальной и самой крупной обломочной лавины до сих пор однозначно не установлен. Мы придерживаемся мнения И. В. Мелекесцева о том, что это обрушение произошло в позднем плейстоцене. Одним из доказательств И. В. Мелекесцева был тот факт, что ледниковые отложения в южном секторе вулкана распространены гораздо дальше, чем в северном [3]. Такая

асимметрия указывает на существование в это время открытой на юг депрессии, которая была ледоёмом. Действительно, наши работы 2013 г. в пос. Ключи показали, что на его территории располагалась краевая зона ледника, который принес сюда исключительно обломки пород вулкана Шивелуч. Ледниковые отложения, вскрытые канавами вдоль восточной границы территории Ключевской вулканостанции, обнаруживают комплекс фаций «мертвого льда», типичный для краевой зоны распространения ледников. В составе окатанного обломочного материала из этих отложений резко преобладают роговообманковые андезиты типичного для Шивелуча облика. Таким образом, ледник распространился в этом направлении от Шивелуча на расстояние как минимум 45 км в то время, как в северном направлении всего на 20 км.

Другими признаками доледникового возраста первоначального обрушения южного сектора постройки Старого Шивелуча являются следы ледниковой обработки и даже подледных излияний в самых древних лавах Молодого Шивелуча, которые образовались уже внутри обвального цирка [1], а также ледниковое происхождение седловины, разделяющей северные склоны Молодого Шивелуча и массив Главной вершины Старого Шивелуча [2].

#### Раннеголоценовые обломочные лавины

С деятельностью Молодого Шивелуча в голоцене было связано не менее 60 крупных извержений, сопровождавшихся образованием пирокластических потоков, обломочных лавин, пеплопадов и лахаров [17]. Во второй половине голоцена кроме секторного обрушения постройки, предвалявшего извержение 1964 г. [8], произошло ещё как минимум тринадцать аналогичных событий, отложения которых распространялись на расстояние 7–20 км [15]. Это показывает, что крупные обвалы с формированием подвижных обломочных лавин были довольно обычными событиями в жизни Молодого Шивелуча.

Отложения двух раннеголоценовых лавин были описаны М. М. Певзнер и др. в юго-восточном и восточном секторах подножия [6]. Нам пока не удалось обнаружить на южном подножии отложений лавины II этих авторов, по-видимому, её отложения залегают только на восточном склоне.

Отложения обломочной лавины III (обозначение по [6]) были ранее описаны в юго-восточном секторе подножия вулкана в долинах рек Кабеку и Сухой Ильчинец. Нам удалось установить отложения этой лавины также в южном секторе подножия на расстоянии  $\sim 25$  км от кратера (рис. 1, лавина 2). Судя по результатам дешифрирования космических снимков, отложения этой лавины могут залегать на расстоянии до 30 км от вулкана. Эти наблюдения существенно расширяют сектор и дальность распространения этой лавины. Среди обломков пород в отложениях лавины наряду с разноразмерными глыбами пироксен-роговообманковых андезитов встречаются крупные блоки пироксен-плагипорфировых анде-

зибазальтов, характерных для западного сектора Старого Шивелуча. Отложения лавины перекрыты почвенно-пирокластическим чехлом, в основании которого залегает маркирующий прослой тефры ПЛ1 (~ 11,65 тыс. лет) [18]. Таким образом, возраст отложений можно оценить в 11,7 тыс. лет. Это близко к оценке возраста этой лавины (11,3 тыс. лет) согласно [6].

В долине р. Сухой Ильчинец отложения этой лавины непосредственно перекрыты отложениями пирокластического потока. Тефра этого извержения распространилась, по нашим данным, на ВЮВ и имеет мощность ~ 5 см на расстоянии более 100 км от вулкана. Тефра имеет довольно необычный для продуктов Молодого Шивелуча облик: это не пемзовые лапилли или обогащенный минералами песок цвета соль-с-перцем [11], а тускло-серый тонкозернистый пепел, на расстоянии до 30 км с включением единичных пемзовых лапилли. По облику она несколько напоминает тефру вулкана Безымянный извержения 1956 г.

Кроме того, на южном подножии нами обнаружены отложения чуть более молодой обломочной лавины (лавина 3), которые спускаются к дороге узким языком и образуют здесь крутые холмы высотой до 10 м. Отложения перекрыты почвенно-пирокластическим чехлом, в нижней части которого залегает маркирующий горизонт тефры ПЛ2 с возрастом ~ 10,2 тыс. лет [18]. Под ним на отложениях лавины залегает ещё два прослоя пемзовой тефры мощностью не более 1 см каждый, которые, скорее всего, представляют собой краевые части отложенных пеплопадов извержений 56 и 57 Молодого Шивелуча [17]. На отложениях лавины не обнаружено пемзовой тефры извержения 58 (~ 10,5 тыс. лет), которая имеет в этом районе мощность 4–6 см. Таким образом, возраст отложений этой обломочной лавины можно оценить в ~ 10,4 тыс. лет. Лавина с таким возрастом ранее была неизвестна. Дальность её пробега (не менее 24 км) превышает таковые всех лавин второй половины голоцена.

Отложения ещё нескольких лавин вдоль дороги не удалось датировать в связи с большой мощностью перекрывающего их почвенно-пирокластического чехла. Ясно только, что эти отложения также относятся к первой половине голоцена, поскольку они перекрыты маркирующим пеплом ХГ вулкана Хангар с возрастом ~ 7700 лет. Они могут быть аналогами вышеописанных отложений, но могут представлять собой отложения и других раннеголоценовых лавин.

Особый интерес вызывает находка отложений обломочной лавины в долине р. Камчатка на расстоянии ~ 35 км от современного кратера. Это на три километра больше, чем известная дальность распространения позднеплейстоценовой лавины в юго-западном секторе (рис. 1). Отложения, состоящие из неокатанных обломков до метра в поперечнике, перекрыты пойменным аллювием и вряд ли могут быть датированы с помощью тефрохроно-

логического метода. Возможно, они принадлежат позднеплейстоценовой лавине или лавине с возрастом ~ 11,7 тыс. лет.

### Обсуждение

Таким образом, нам удалось выявить отложения нескольких крупных лавин, залегающие на южном подножии вулкана Шивелуч на расстоянии более 24–25 км от него и вплоть до долины р. Камчатка. Такая дальность пробега для пост-плейстоценовых лавин установлена впервые.

Предполагаемые площади распространения отложений (рис. 1) и сравнение их с таковыми для лавин второй половины голоцена позволяют оценить объём лавины ~ 11,7 тыс. лет в ~ 10 км<sup>3</sup>. Это делает её самой крупной пост-плейстоценовой лавиной Камчатки, превышающей по масштабу лавины на вулканах Камень и Камбальный [16]. Судя по присутствию в её обломочном материале фрагментов андезибазальтов, характерных для юго-западного сектора постройки Старого Шивелуча, сход этой лавины мог расширить первоначальный обвальный цирк в этом секторе. Объём отложений впервые обнаруженной нами более молодой обломочной лавины ~ 10,4 тыс. лет (лавина 3 на рис. 1) можно оценить в ~ 4–5 км<sup>3</sup>.

В современной литературе описан ряд примеров влияния крупномасштабных обрушений вулканических построек на дальнейшую эволюцию вулканизма [13]. Предполагается, что уменьшение литостатического давления, связанное с удалением части вулканической постройки, может привести не только к крупным эксплозивным извержениям, но и к изменениям, и даже перестройке питающей магматической системы вулкана [14]. На примере исторических секторных обрушений активных вулканов показано, что сход обломочной лавины может предваряться или внедрением магмы в постройку (например, вулканы Безымянный и Сент-Хеленс) или образованием лавовых куполов (Молодой Шивелуч). До схода лавины 11,7 л. н. в течение нескольких столетий происходило формирование лавового комплекса Молодого Шивелуча, сопровождавшегося слабыми эксплозивными извержениями [1, 6]. Возможно, что сход крупной лавины снял нагрузку с очага, питавшего этот комплекс, после чего последовало сильное эксплозивное извержение, вызванное его декомпрессией.

В работе [6] предполагается, что более ранняя лавина II спровоцировала появление на поверхности первых расплавов «типа Молодого Шивелуча». На южном подножии вулкана нам пока не удалось обнаружить отложения этой лавины. Отсутствует она и в юго-восточном секторе подножия в долине р. Сухой Ильчинец. Если эти отложения распространены только на восточном подножии Старого Шивелуча, то остаётся неясным положение соответствующего им обвального цирка в восточном секторе постройки. Крутые восточные склоны Старого Шивелуча рассечены глубокими долинами, в части



которых до сих пор лежат ледники, и на постройке не обнаруживаются морфологических признаков произошедшего обвала. Поскольку не ясно, какая часть постройки могла быть вовлечена в такой обвал, неясным остаётся и механизм изменений в питающей системе вулкана, который мог привести к подъёму кислых магм.

До сих пор неясным остаётся и влияние первоначального и самого крупного обрушения вулкана Старый Шивелуч на последующее развитие магматической системы вулкана. Ранее были высказаны предположения о катастрофическом извержении, последовавшем за этой лавиной [3, 10]. Однако, нам пока не удалось обнаружить большеобъёмных пирокластических отложений, которые бы залегали на лавах Старого Шивелуча или непосредственно на обвальных отложениях и могли быть связаны с этим эксплозивным извержением.

Певзнер и др. [6] документировали в жизни вулкана период длительностью по меньшей мере 4 тыс. лет, который имел место уже после первоначального обрушения постройки Старого Шивелуча, но ещё до появления типичных андезитов Молодого Шивелуча. В течение этого периода происходили умеренные извержения андезибазальтовой пирокластики, близкой по составу породам Байдарного отрога. Это дало авторам основание предположить, что сход наиболее ранней из известных обломочных лавин Шивелуча привёл к возникновению Байдарного центра. Однако, лавы близкого андезибазальтового состава известны и в гораздо более древних частях Старого Шивелуча, в частности, они залегают в основании его лавового комплекса в верховьях руч. Мутного [2, 12].

Таким образом, история эруптивной активности вулкана Шивелуч в плейстоцене до сих пор известна крайне фрагментарно. Ясно, что с начала формирования лавового комплекса Старого Шивелуча ~ 80 тыс. л. н. [7] и до позднего ледниковья на вулкане происходили многочисленные события, в том числе и обрушения его постройки. Та депрессия, в которой сейчас располагается Молодой Шивелуч, несомненно, является результатом многих событий и будет и далее модифицироваться последующими обвалами и эксплозивными извержениями.

Интересным результатом наших исследований является примирение ранее непримиримых точек зрения о возрасте крупных обломочных лавин южного подножия. Скорее всего, прав И. В. Мелекесцев, который ещё в 1970-ые годы впервые высказал предположение о доледниковом возрасте самого крупного обрушения в жизни Шивелуча [4]. В то же время оказался прав и А. Б. Белоусов, который совершенно справедливо считал отложения в среднем течении р. Кабеку раннеголоценовыми [9]. Эти отложения (лавины ~ 11,7 тыс. л. н.) действительно последнеледниковые и действительно были отложены крупнейшей, второй по масштабу лавиной. Очень интересную детализацию и датирование крупнейших событий

предлагает М. М. Певзнер [6]. Мы надеемся, что дальнейшие исследования самых крупных лавин, отложения которых лежат на дальнем подножии вулкана, а также недавно обнаруженных обнажений его доледниковой тефры помогут восстановить основные события жизни вулкана Шивелуч в плейстоцене и их воздействие на магматическую эволюцию вулкана.

#### Благодарности.

Выполненные исследования были проведены благодаря грантам РФФИ-ДВО РАН № 11-05-98555р\_восток\_a и РФФИ № 13-05-00346. Авторы благодарят М. М. Певзнер за участие в полевых работах 2011 г. Мы также выражаем свою признательность нашим водителям А. А. Ножикову и О. В. Толстых за их безупречную работу и большую помощь в поле.

#### Список литературы

1. Горбач Н. В., Портнягин М. В. Геологическое строение и петрология лавового комплекса вулкана Молодой Шивелуч // Петрология. 2011. Том. 19. № 2 С. 140–172.
2. Горбач Н. В. Вулкан Старый Шивелуч: геологическое строение, реконструкция эруптивных центров и характер деятельности в позднем плейстоцене // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2011. Вып. 17 № 1. С. 77–90.
3. Мелекесцев И. В., Вольнец О. Н., Ермаков В. А. и др. Вулкан Шивелуч // Действующие вулканы Камчатки. Том. 1. М.: Наука, 1991. С. 84–103.
4. Мелекесцев И. В., Брайцева О. А., Эрлих Э. Н., Кожемяка Н. Н. Вулканические горы и равнины // Камчатка, Курильские и Командорские острова. М.: Наука. 1974. С. 162–234.
5. Меняйлов А. А. Вулкан Шивелуч – его геологическое строение, состав и извержения // Тр. Лаб. вулканологии АН СССР. 1955. Вып. 9. 264 с.
6. Певзнер М. М., Бабанский А. Д., Толстых М. Л., Кононкова Н. Н. Перестройка магматической системы вулканического массива Шивелуч как следствие крупномасштабных обрушений его постройки в позднем плейстоцене – раннем голоцене // ДАН. 2012. Том. 447. № 3. С. 318–321.
7. Певзнер М. М., Толстых М. Л., Бабанский А. Д. и др. Первые данные об изотопном возрасте и составе исходных расплавов пород начальной фазы деятельности вулканического массива Шивелуч, Камчатка // Материалы традиционной региональной научной конференции, посвящённой Дню Вулканолога. 2014 (настоящий сборник).
8. Belousov A. B. The Shiveluch volcanic eruption of 12 November 1964: explosive eruption provoked by failure of the edifice // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 1995. Vol. 66. P. 357–365.
9. Belousov A. B., Belousova M. G., Voight B. Multiple edifice failures, debris avalanches and associated eruptions in the Holocene history of Shiveluch volcano, Kamchatka, Russia // Bulletin of Volcanology. 1999. Vol. 61. P. 324–342.

10. *Braitseva O. A., Melekestsev I. V., Ponomareva V. V., Sulerzhitsky L. D.* The ages of calderas, large explosive craters and active volcanoes in the Kuril-Kamchatka region, Russia // *Bulletin of Volcanology*. 1995. Vol. 57/6. P. 383–402.
11. *Braitseva O. A., Ponomareva V. V., Sulerzhitsky L. D. et al.* Holocene key-marker tephra layers in Kamchatka, Russia // *Quaternary Research*. 1997. V. 47. P. 125–139.
12. *Gorbach N. V., Portnyagin M. V., Tembrel I. I.* Volcanic structure and composition of Old Shiveluch volcano, Kamchatka // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2013. Vol. 263. P. 193–208. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2012.12.012
13. *Manconi A., Longpré M.-A., Walter T. R., et al.,* The effects of flank collapses on volcano plumbing systems. *Geology*. 2009. Vol. 37. P. 1099–1102.
14. *Pinel V., Jaupart C.* Some consequences of volcanic edifice destruction. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2005. Vol. 145. P. 68–80.
15. *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 // *Bulletin of Volcanology*. 1998. Vol. 59/7. P. 490–505.
16. *Ponomareva V. V., Melekestsev I. V., Dirksen O. V.* Sector collapses and large landslides on Late Pleistocene-Holocene volcanoes in Kamchatka, Russia // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2006. Vol. 158. P. 117–138.
17. *Ponomareva V. V., Kyle P. R., Pevzner M. M. et al.* Holocene eruptive history of Shiveluch volcano, Kamchatka Peninsula. In: Eichelberger J., Gordeev E., Kasahara M., Izbekov P., Lees J. (Eds) «Volcanism and Subduction: The Kamchatka Region», American Geophysical Union Geophysical Monograph Series, 2007. Vol. 172. P. 263–282.
18. *Ponomareva V., Portnyagin M., Derkachev A. et al.* Early Holocene M~6 explosive eruption from Plosky volcanic massif (Kamchatka) and its tephra as a link between terrestrial and marine paleoenvironmental records // *International Journal of Earth Sciences*. 2013. Vol. 102/6. P. 1673–1699.