



УДК 551.21

В. Л. Леонов<sup>1</sup>, А. Н. Рогозин<sup>1</sup>, Е. С. Кляпицкий<sup>1</sup>, С. А. Рылова<sup>1</sup>,  
Т. В. Леонова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН Адрес для переписки:  
lwl@kscnet.ru*

## Реконструкция гигантского пирокластического потока, связанного с кальдерой Карымшина, Южная Камчатка

Выделено обширное новое поле игнимбригов, доказана их связь с кальдерой Карымшина, которая представляет собой пока единственный в России супервулкан [2]. Ранее игнимбриги, связанные с кальдерой Карымшина, были известны только внутри этой структуры (их мощность там составляет более 1000 м). Реконструирована крупная палеодолина, куда при извержениях, происходивших в кальдере, скатывались пирокластические потоки. Игнимбриги были прослежены от края палеодепрессии на расстояние более 40 км. Их мощность вдоль потока с удалением от центра извержения постепенно уменьшается от 500–600 м до 200 м и менее. Поле расположено вдали от кальдеры и предыдущими исследователями не связывалось с ней и не рассматривалось как однородное, закономерно устроенное образование. Уточнены представления об объёмах и площадях распространения игнимбригов, связанных с кальдерой Карымшина.

### Введение

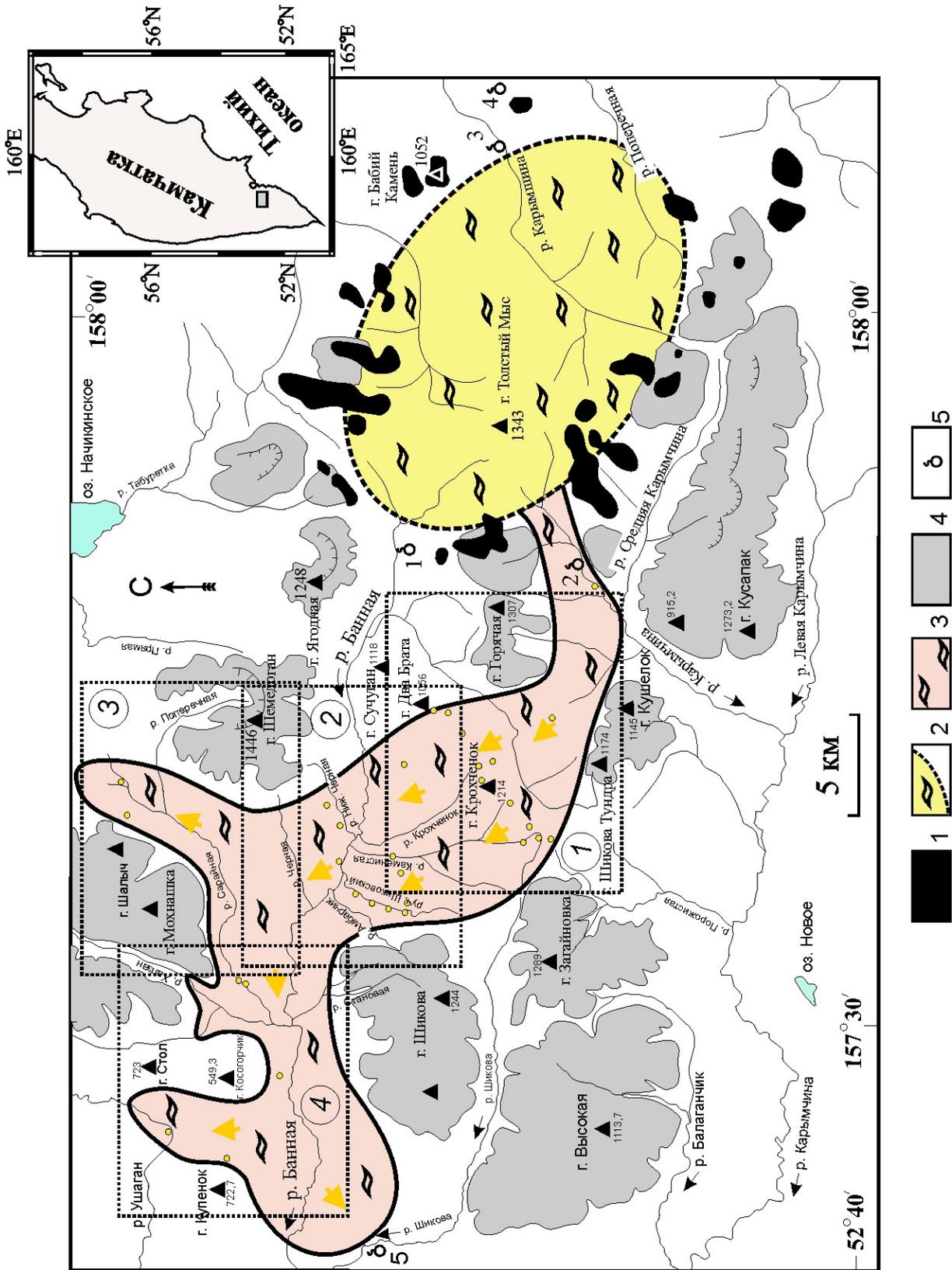
Кальдера Карымшина была выделена нами после того, как был расчленен так называемый «Карымшинский комплекс» — мощная толща преимущественно туфов и игнимбригов, выделяющаяся ранее геологами на рассматриваемой территории [9]. Изучение разрезов в поле [2], проведённые датировки пород Ar-Ar методом [3, 10] позволили сделать вывод, что «Карымшинский комплекс» необходимо расчленить на несколько пачек [6]. Было установлено, что туфы и игнимбриги, связанные с кальдерой Карымшина («карымшинские») имеют эоплейстоценовый возраст (1,5–1,78 млн лет). Туфы и игнимбриги, вскрывающиеся в бортах кальдеры (мы их условно назвали «сычуганские» — по названию горы, где вскрыт наиболее полный разрез этих пород), имеют гораздо более древний возраст — 3,5–4 млн лет [5].

Микроскопически туфы и игнимбриги кальдеры Карымшина представляют собой породу, насыщенную обломками вкрапленников плагиоклаза, кварца, биотита, составляющими 45–50% объёма породы. Плагиоклаз преобладает, встречаются как отдельные зёрна, так и фрагменты мономинеральных сростков. Вкрапленники оплавлены, резорбированы, содержат включения расплава. Биотит (0,3–0,5 мм) образует чешуйчатые зёрна и тонкие лейсты, иногда изогнутые и расщепленные. Основная масса представлена бурым девитрифицированным стеклом, с сохранившимися очертаниями пепловых частиц. По составу породы отвечают риолиту и имеют 70–72% SiO<sub>2</sub>. Местами породы имеют настолько сильное спекание, что обладают лавоподобным обликом. Из-за этого при геологической съёмке они иногда были откартированы, как субвулканические тела [1].

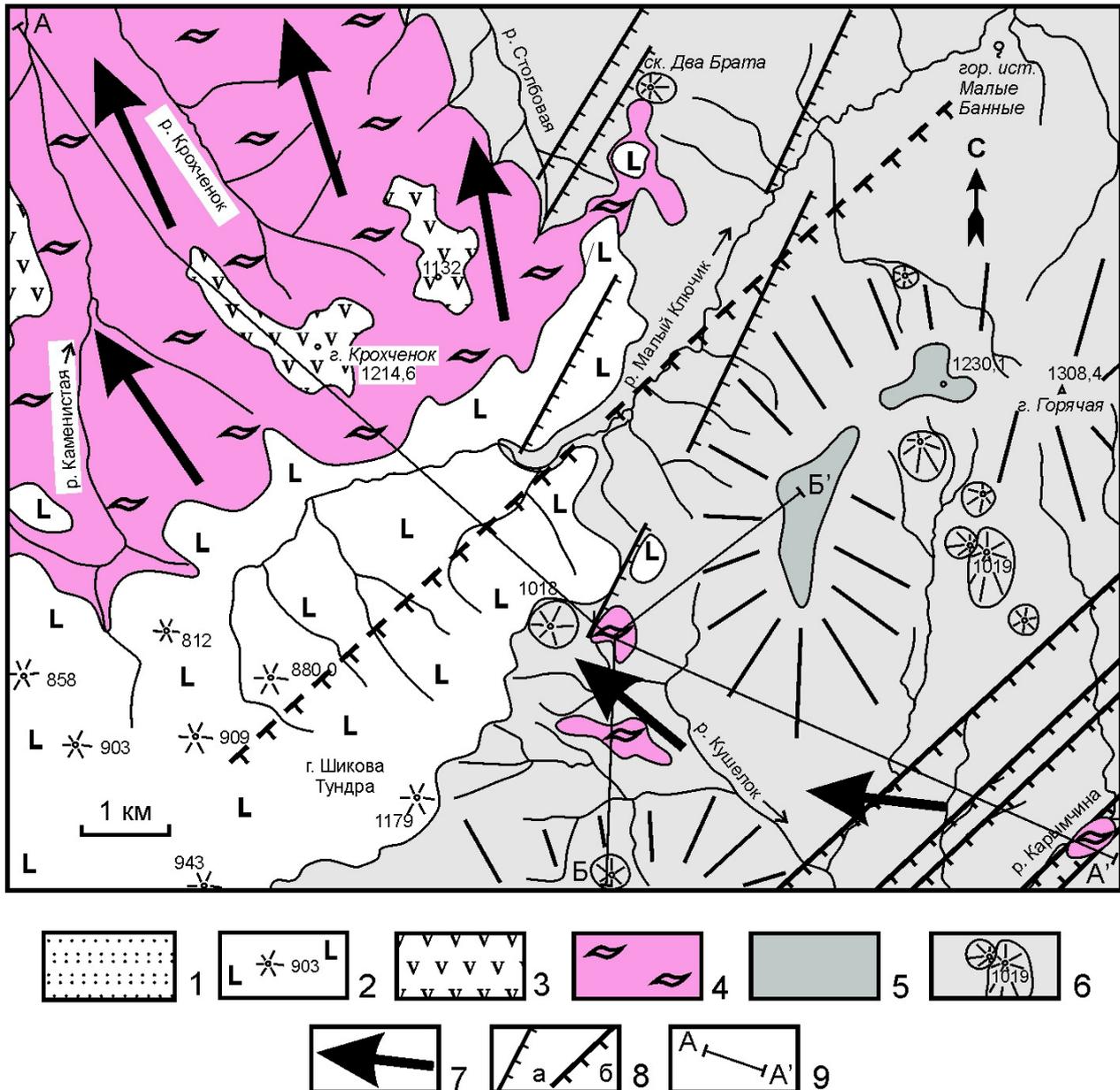
На первом этапе работ (2007–2012 гг.) игнимбриги, связанные с кальдерой Карымшина, были выявлены нами только внутри кальдеры, которую они когда-то заполнили. Их мощность там составляет более 1000 м, и эта мощность минимальная, так как отложений, подстилающих игнимбриги, внутри кальдеры обнаружено не было. За пределами кальдеры игнимбригов, связанных с ней, до 2012 г. мы не встречали, хотя были обследованы все близлежащие к кальдере районы, были выявлены и изучены многочисленные докальдерные вулканы, расположенные по периметру кальдеры [4].

В 2012 г., проводя работы в среднем течении реки Банной, в 15 км к западу от границ кальдеры Карымшина, мы впервые обнаружили «карымшинские» игнимбриги за пределами кальдеры. В дальнейшем мы провели целенаправленные работы по картированию этой толщи игнимбригов, и оказалось, что они занимают обширные пространства как в бассейне реки Банной, так и в бассейнах соседних рек Сарайной, Халзан, Ушаган. В 2013–2014 гг. «карымшинские» игнимбриги были найдены нами на расстоянии 35–40 км от края кальдеры Карымшина. Стало ясно, что мы имеем дело с отложениями крупного пирокластического потока, который распространился на запад и северо-запад от кальдеры по палеодолине.

В настоящем сообщении мы рассмотрим условия залегания «карымшинских» игнимбригов на разных участках по пути движения потока, проведём его реконструкцию и определим примерный объём пирокластики, которая была выброшена при мощном извержении, произошедшем в районе кальдеры Карымшина и сформировавшем рассматриваемый пирокластический поток.



**Рис. 1.** Схема реконструированного пирокластического потока, связанного с кальдерой Карымшина. 1 — купола и потоки, сложенные лавами риолитового состава, расположенные по краям кальдеры Карымшина (посткальдерные); 2 — границы кальдеры Карымшина и заполняющие её игнимбриты; 3 — отложения реконструированного пирокластического потока; 4 — остатки древних вулканических построек, сформировавшихся на докальдерном этапе; 5 — термальные источники (1 — Больше-Банная, 2 — Карымшинские, 3 — Карымчинские, 4 — Верхне-Парагунские, 5 — Апачинские). Прямоугольнички, выделенные точечной линией и отмеченные цифрами в кружках — участки детальных работ (1 — «Малый Ключик», 2 — «Банный», 3 — «Шалыч», 4 — «Куленок»).



**Рис. 2.** Схема геологического строения и разрезы участка «Малый Ключик». 1 — аллювиальные отложения (голоцен); 2 — лавы базальтового состава урочища Шикова Тундра (средний плейстоцен); 3 — лавы андезитового состава (остатки вулканов, сформированных на посткальдерном этапе) (нижний плейстоцен); 4 — игнимбриты, связанные с кальдерой Карымшина (эоплейстоцен); 5 — лавы базальтового состава, завершающие этап докальдерного вулканизма (верхний плиоцен); 6 — нерасчлененный комплекс докальдерных отложений, прорванный экструзиями высококальциевых риолитов (плиоцен); 7 — направления, вдоль которых распространялись пирокластические потоки, заполняя долины к западу от кальдеры Карымшина; 8 — разломы, преимущественно сбросы: а — позднплейстоценового возраста, б — ранне-среднплейстоценового возраста (пунктирной линией показан предполагаемый разлом); 9 — линии геологических разрезов.

**Особенности распространения отложений, связанных с реконструированным пирокластическим потоком**

На рис. 1 приведена схема распространения отложений рассматриваемого пирокластического потока. Рассмотрим далее участки, на которых были проведены детальные работы, и где были определены границы потока.

**Участок «Малый Ключик».** «Карымшинские» игнимбриты здесь были обнаружены в виде обширного поля на северо-западе участка и в виде отдельных небольших выходов — на юго-востоке (рис. 2). В верховьях ручья Малый Ключик по Каменистой их мощность достигает 500–600 м — это максимальные сохранившиеся направления на северо-восток игнимбриты полностью выклиниваются.

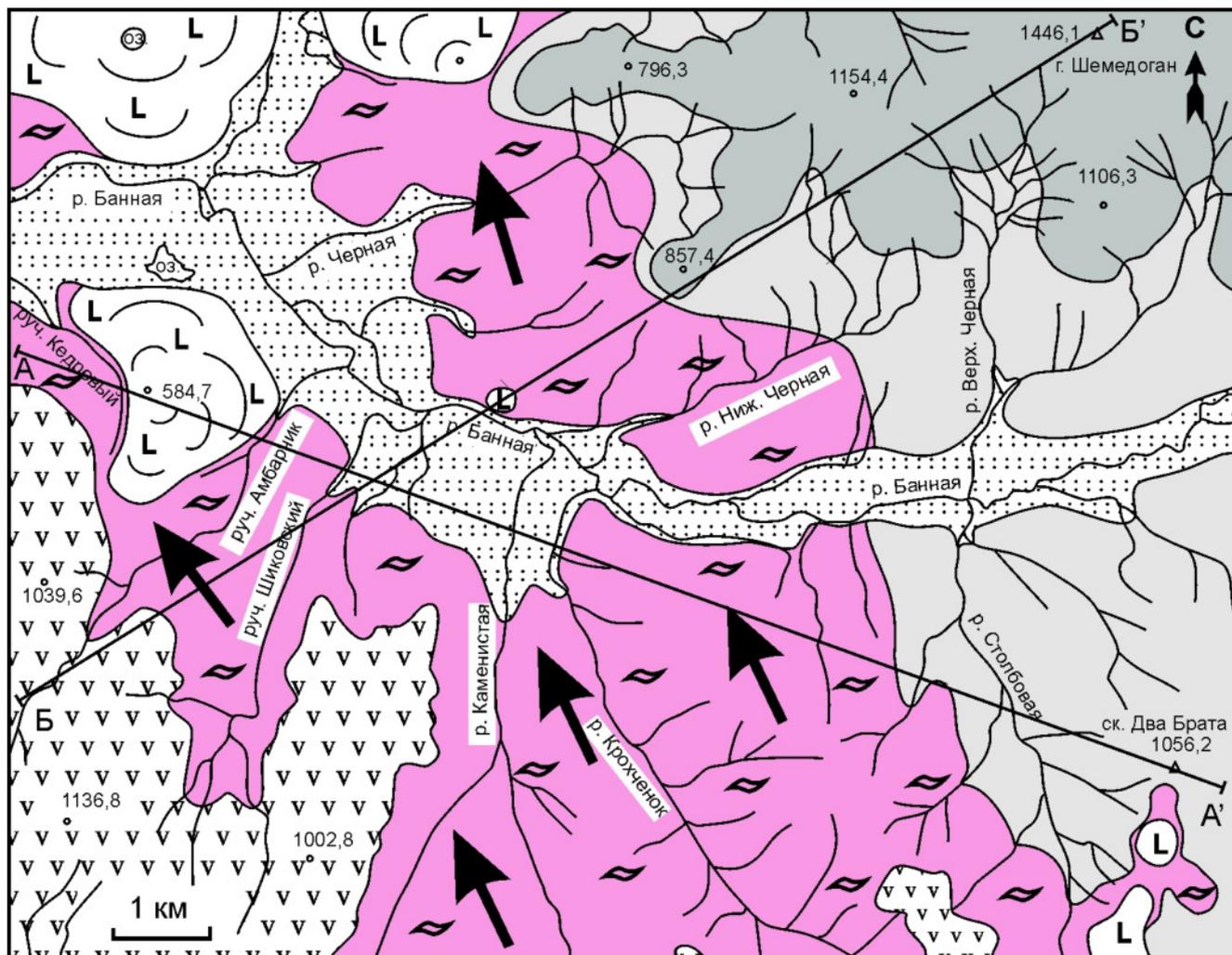


Рис. 3. Схема геологического строения и разрезы участка «Баный». Условные обозначения см. рис. 2.

Так, в районе горы Два Брата и в верховьях реки Столбовой они встречены лишь в виде маломощных отложений в перевальной части и далее на северо-восток не прослеживаются (см. рис. 2).

Непосредственно вдоль ручья Малый Ключик в его верховьях широко распространены относительно молодые лавы андезибазальтов, слагающие обширное плоскогорье (урочище Шикова Тундра), выходы игнимбритов здесь не обнаружены.

Небольшие сохранившиеся участки покрова игнимбритов найдены в перевальной части в верховьях р. Кушелок и в бассейне р. Карымчина (см. рис. 11). На этих участках происходит ступенчатое погружение пород по системе разломов северо-восточного простирания к юго-востоку. Дно долины реки Карымчина опущено относительно её бортов на несколько сот метров. Значительные блоковые погружения и эрозионные процессы привели к тому, что сохранились лишь остатки когда-то, по-видимому, единого поля игнимбритов, которые в настоящее время мы обнаруживаем на разных гипсометрических уровнях. Можно предполагать, что в период формирования пирокластический поток

скатился от границ кальдеры Карымшина на запад по узкой долине, и далее устремился в понижение между древних массивов гор Горячая и Кушелок (см. рис. 1, 2).

**Участок «Баный».** Здесь мощные отложения «карымшинских» игнимбритов обнаруживаются по многим притокам реки Банной: речкам Чёрная, Нижняя Чёрная, ручьям Шиковский, Амбарчик и др. (рис. 3). В тоже время, западнее, вдоль рек Верхняя Чёрная и Столбовая «карымшинские» игнимбриты отсутствуют — там вскрывается комплекс более древних отложений, в том числе осадочных, относящихся к Жировской толще (олигоцен) [1]. Таким образом, на этом участке граница между «карымшинскими» игнимбритами и более древними отложениями прослеживается достаточно точно — она имеет северо-северо-западное простирание. Пирокластический поток здесь огибал с запада остатки докальдерных вулканов, в том числе постройку нижне-средне-плиоценового вулкана Шемедоган [8].

**Участок «Шалыч».** Здесь остатки обширного поля «карымшинских» игнимбритов фиксируются

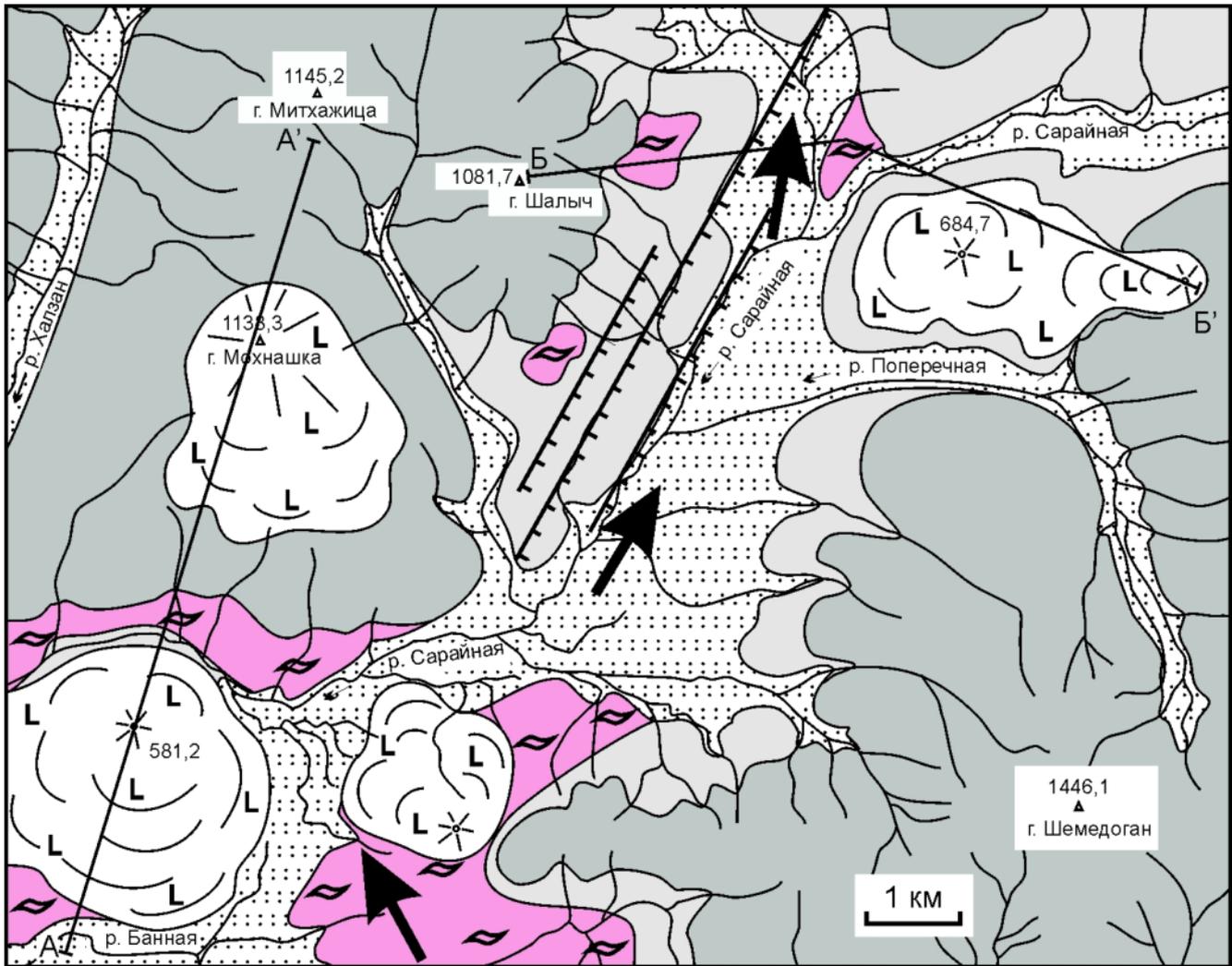


Рис. 4. Схема геологического строения и разрезы участка «Шалыч». Условные обозначения см. рис. 2.

на бортах реки Сарайной (рис. 4). Как и на рассмотренном выше участке «Малый Ключик» значительную роль в расчленении и размыве отложений пирокластического потока здесь сыграли тектоника и эрозионные процессы. Река Сарайная в её среднем течении протекает вдоль тектонического уступа, сформированного крупными сбросами северо-северо-восточного простирания. «Карымшинские» игнимбриты обнаружены как на правом борту реки Сарайной у подножия горы Шалыч, где они вскрываются на высоте около 600 м, так и на дне долины реки Сарайной на абсолютных отметках 400–420 м. Очевидно, что когда-то отложения пирокластического потока заполнили здесь пространство между двумя крупными вулканами — вулканом Шемедоган, расположенным на юго-востоке участка, и вулканом Халзан, расположенным на северо-западе участка (см. рис. 4).

Ниже по течению река Сарайная огибает с севера относительно молодой вулкан с отметкой 581,2 м и там вскрывается мощная толща «карымшинских» игнимбритов, слабо затронутых эрозионными про-

цессами (рис. 5). Здесь игнимбриты залегают на абсолютных отметках 280–350 м, а всего имеют мощность не менее 150 м.

**Участок «Купенок».** На этом участке, на плоской равнине, простирающейся от р. Ушаган на севере до р. Банной на юге, «карымшинские» игнимбриты распространены достаточно широко (рис. 6). Мощность их здесь достигает 100 м. На западе игнимбриты прислонены к выступу меловых пород (преимущественно метаморфизованных сланцев и песчаников) (см. рис. 6). Севернее, около г. Стол и далее в долине р. Ушаган, игнимбриты перекрыты ледниковыми отложениями, которые образуют отчетливые валы конечных морен. По этим валам дешифрируется край ледника, сползавшего с севера по долине р. Ушаган в позднем плейстоцене. На левом борту долины реки Банной «карымшинские» игнимбриты обнаружены не были. Скорее всего, они уничтожены эрозионными процессами.

Поле игнимбритов, показанное на участке «Купенок», закономерно сменяет ту часть игнимбритового покрова, остатки которой были выявлены



**Рис. 5.** Обнажение «карымшинских» игнимбритов на левом борту реки Сарайной у северо-западного подножия вулкана с отметкой 581,2 м (см. рис. 4).

в бассейне р. Сарайной на участке «Шалыч». Можно предполагать, что продвигаясь на северо-запад, поток раздвоился: часть его, огибая древний вулкан Шемедоган, продвинулась по долине реки Сарайной на северо-восток, а другая часть устремилась на запад между вулканами Шикова и Халзан (см. рис. 1). Далее поток выплеснулся в широкую долину, где расположены в настоящее время нижние части рек Банная и Шикова. Здесь он уже оставил отложения совсем небольшой мощности — до 100 м и менее. Сегодня эти отложения можно обнаружить в виде отдельных небольших выходов, разбросанных по обширной территории (см. рис. 1).

#### **Оценка площади пирокластического потока и объёмов выброшенного материала**

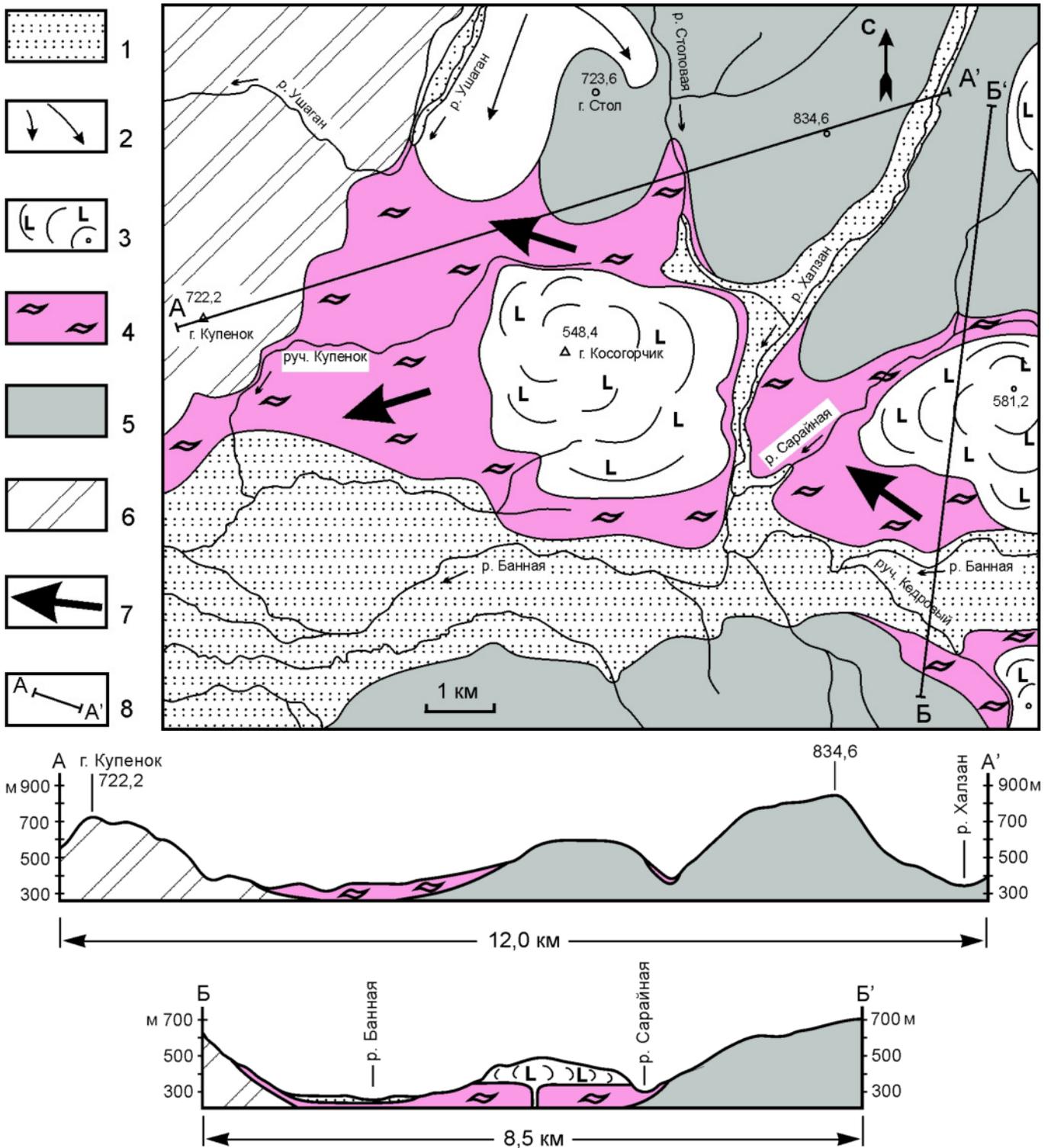
В последние годы нами создана геоинформационная система (ГИС) «Суперкальдера Карымшина на Камчатке» [7]. Данная ГИС создана в ПО ArcGis9.3 и предназначена для сбора, систематизации, хранения и дальнейшей обработки геоданных собранных за многие годы полевых исследований в данном районе. В частности, ГИС содержит электронную карту района исследований, а также TIN-модель местности, что позволяет решать задачи анализа рельефа местности, например, построение профилей, вычисление длины и площади объектов с учётом

рельефа. Необходимо отметить, что для представления данных и дальнейших расчётов была выбрана проекция Гаусса-Крюгера, для которой характерно наименьшее искажения длины.

ГИС «Суперкальдера Карымшина на Камчатке» была использована нами для расчёта площади и объёма отложений реконструированного пирокластического потока. Рассмотренное в работе поле «карымшинских» игнимбритов представлено в ГИС несколькими полигональными объектами в соответствии с предполагаемой мощностью залегания игнимбритов (рис. 7). С помощью дополнительного модуля 3D Analyst, включающего специальные инструменты анализа поверхности, были рассчитаны площади и объёмы каждого объекта, и, далее, суммарный объём потока (табл. 1).

Приведённые оценки — минимальные. В дальнейшем, мы надеемся, площади распространения отложений рассмотренного пирокластического потока будут расширены за счёт открытия новых участков, где будут найдены «карымшинские» игнимбриты. Прежде всего, это касается районов, расположенных к западу от выявленных на настоящий момент границ потока.

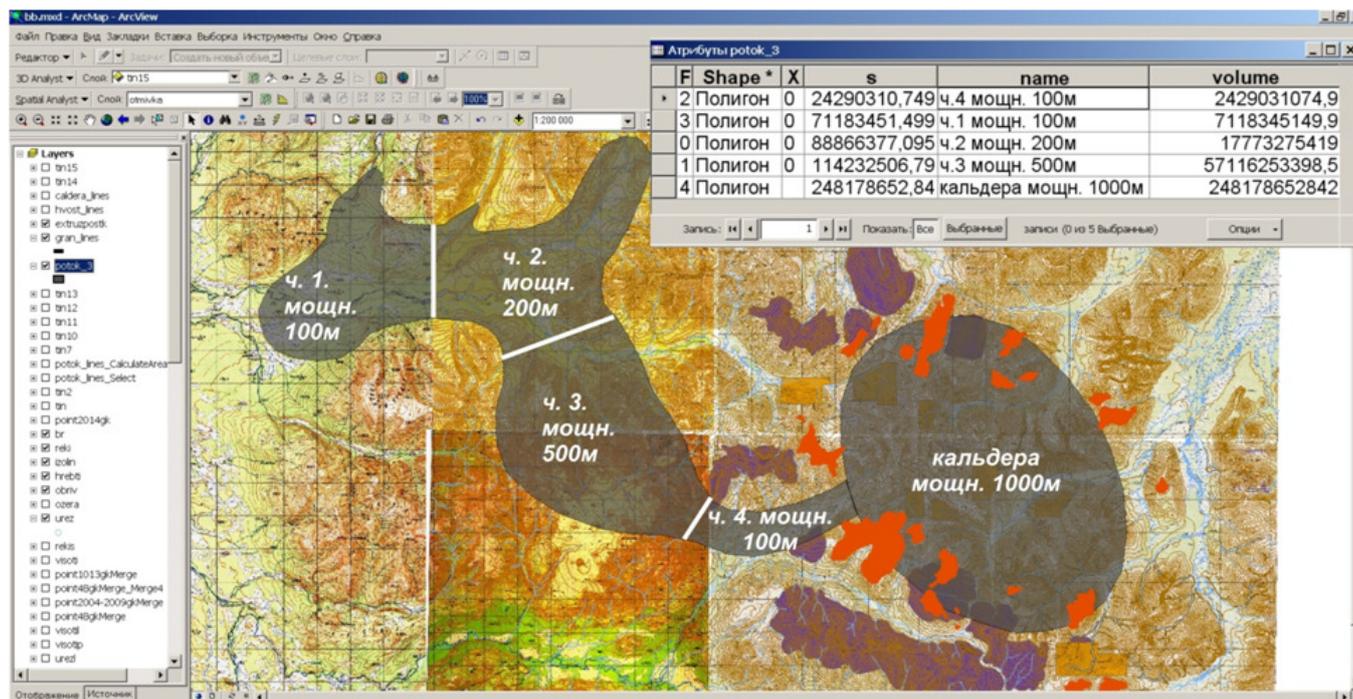
Многие известные крупнообъёмные игнимбри-тообразующие извержения происходили на Земле



**Рис. 6.** Схема геологического строения и разрезы участка «Купенок». 2 — ледниковые отложения (верхний плейстоцен); 6 — метаморфизованные сланцы и песчаники (ирунейская свита, верхний мел [1]). Остальные условные обозначения см. рис. 2.

достаточно давно, миллионы л. н. Большая часть материала, выброшенного при этих извержениях, к настоящему времени уже уничтожена эрозией или скрыта под более молодыми отложениями. Из-за этого посчитать истинные объёмы извержен-

ного материала чаще всего можно лишь приблизительно. Не является исключением и кальдера Карымшина. Ранее мы приблизительно принимали вслед за [11], что три составляющие полного объёма изверженных продуктов, связанных с кальдерой



**Рис. 7.** Скриншот из ПО ArcGis, на котором показаны данные, взятые для расчёта площади и объёма игнимбритов, выявленных в пределах реконструированного пирокластического потока. В атрибутивной таблице поле  $s$  – площадь, поле  $volume$  – объём.

**Таблица 1.** Площади и объёмы игнимбритов реконструированного пирокластического потока.

Площадь		Объём	
Площадь по участкам	Суммарная площадь	Объём по участкам	Суммарный объём
$S_{ч.1} = 71,1 \text{ км}^2$	$\sum S = 298,2 \text{ км}^2$	$V_{ч.1} = 7,1 \text{ км}^3$	$\sum V = 84,4 \text{ км}^3$
$S_{ч.2} = 88,7 \text{ км}^2$		$V_{ч.2} = 17,8 \text{ км}^3$	
$S_{ч.3} = 114,2 \text{ км}^2$		$V_{ч.3} = 57,1 \text{ км}^3$	
$S_{ч.4} = 24,2 \text{ км}^2$		$V_{ч.4} = 2,4 \text{ км}^3$	

Карымшина – внутрикальдерного заполнения, покровов игнимбритов вокруг кальдер и пеплов, унесенных на далекие расстояния – примерно равны. Достоверно зная лишь объём внутрикальдерных отложений для выделенной нами кальдеры ( $275 \text{ км}^3$ ) мы оценивали общий объём материала, извергнутого при её образовании в  $825 \text{ км}^3$  [2]. Приведённые выше реальные данные по объёму игнимбритов выявленного пирокластического потока дают представление, по-видимому, лишь о небольшой части тех отложений (покровов игнимбритов вокруг кальдер), которые сформировались во время кальдерообразующих извержений в данном районе. Скорее всего, рассмотренный поток не единственный, и в дальнейшем будут открыты новые площади, занятые отложениями других пирокластических потоков, которые распространялись от границ кальдеры Карымшина в иных направлениях.

Работа выполнена в рамках проектов: № 15-И-2-031 «Катастрофические кальдерообразующие извер-

жения Камчатки: возраст, повторяемость, условия локализации» (руководитель В. Л. Леонов), № 13-05-00346 «Исследования тefры вулканов Камчатки для реконструкции параметров крупнейших четвертичных эксплозивных извержений и корреляции удалённых разрезов морских и наземных отложений» (руководитель В. В. Пономарёва), № 13-III-B-08-171 «Условия формирования суперкальдеры Карымшина на Камчатке: реконструкция вулканических построек и эволюция вулканизма на докальдерном этапе» (руководитель А. Н. Рогозин).

#### Список литературы

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации (издание второе). Хангарская серия. Лист N-57-XXVI. Составили А. К. Боровцов, Хасанов Ш. Г., Бархатов Ю. В., Козова Т. В.. 2002.
2. Леонов В. Л. Рогозин А. Н. Карымшина – гигантская кальдера-супервулкан на Камчатке: границы, строение, объём пирокластики // Вулканология и сейсмология. 2007. № 5. С. 14–28.

3. Леонов В. Л., Биндеман И. Н., Rogozin А. Н. Новые данные по Ar-Ag датированию игнимбритов Камчатки // Материалы конференции, посвящённой Дню вулканолога, 27–29 марта 2008 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2008. С. 187–196.
4. Леонов В. Л., Биндеман И. Н., Rogozin А. Н. Новые данные о вулканизме, предварявшем суперизвержение и формирование кальдеры Карымшина (Южная Камчатка) // Материалы конференции, посвящённой Дню вулканолога, 27–29 марта 2012 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2012. С. 19.
5. Леонов В. Л., Биндеман И. Н., Rogozin А. Н., Анискин Л. П. Новые датировки вулканических пород, сформировавшихся при крупнообъёмных эксплозивных извержениях на Южной Камчатке // Тезисы докладов конференции, посвящённой Дню вулканолога, 28–29 марта 2013 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2013. С. 33–34.
6. Леонов В. Л., Rogozin А. Н. Эпизодичность кислого вулканизма на Южной Камчатке (по новым данным К-Ar и Ar-Ag датирования и результатам изучения разрезов) // Материалы ежегодной конференции, посвящённой Дню вулканолога, 30–31 марта 2009 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2010. С. 62–74.
7. Rogozin А. Н., Леонова Т. В., Леонов В. Л. Создание ГИС «Суперкальдера Карымшина на Камчатке» // Материалы III Международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов Памяти академика Карпинского А. П., 11–15 февраля 2013 г. Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 2013. С. 858–862.
8. Рылова С. А., Rogozin А. Н. Вулкан Шемедоган (хребет Халзан, Камчатка): геологическое строение, разрезы и геохимические особенности пород // Материалы IX региональной молодёжной научной конференции «Исследования в области наук о Земле», 1–2 декабря 2011 г. Петропавловск-Камчатский, ИВиС ДВО РАН. 2011. С. 73–86.
9. Шеймович В. С., Хацкин С. В. Риодацитовая магматическая формация юго-восточной Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1996. № 5. С. 99–105.
10. Bindeman I. N., Leonov V. L., Izbekov P. E., et al. Large-volume silicic volcanism in Kamchatka: Ar-Ar, U-Pb ages, isotopic, and geochemical characteristics of major pre-Holocene caldera-forming eruptions // J. Volcanol. Geotherm. Res. 2010. Vol. 189. № 1–2. P. 57–80.
11. Mason B. G., Pyle D. M., Oppenheimer C. The size and frequency of the largest explosive eruptions on Earth // Bul. of Volcanology. 2004. Vol. 66. P. 735–748.