

AEOLIAN-ACCUMULATIVE COMPLEX SARYKUM AS A UNIQUE GEOMORPHIC OBJECT OF RUSSIA: STRUCTURE, GENESIS AND SANDS SOURCES

A.V. GUSAROV

*Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia
e-mail: avgusarov@mail.ru*

Summary

Aeolian-accumulative complex Sarykum is one of the highest isolated (i.e. formed away from the deserts) sandy landforms in Eurasia, located within the Terek-Sulak lowland plain at the north-eastern foothill of the Caucasus Mountains, 16–17 km towards WNW of the Makhachkala City port of Caspian Sea (Republic of Dagestan, Russia). On the basis of particle size distribution and mineralogical analysis of 59 sandy samples, the heterogeneous structure of the complex is defined. The coarsest sandy material (modal values are 352 micron and more) composes the central dune-ridge segment of Sarykum (of so-called Great (or West) Sarykum). The further from the dune constructions to the periphery, the thinner the average dimension of the sand particles and smaller the modal values (249 micron and less) of their granulometric spectra. This grain size distribution can be explained not only by windy sorting of the sands and further aeolian recast of dune-ridge segment, but also by spatial features of the facial changes during the period of initial sandy accumulation, and also by the differences in composition of rocks, which were the sources of denudation. In the vertical structure of Sarykum the heterogeneity is also expressed. It is associated with temporary changes of sandy sedimentation conditions in the region. So, the dune-ridge segment of Great Sarykum can be represented as a system of consistently accumulated sandy layers (lenses?) (which includes the gravelly sands), which differ in composition and age, having apparently the coarsest content in the middle part of its vertical geological cross-section.

The material of overwhelming majority of the selected samples belongs to mineral group of quartz sands (quartz content is over 90%) and subgroup of quartz subarkose (quartz content is 80–90%). Moreover, the aeolian (deflated) sands of the dune-ridge segment and its underlying cross-bedded sands of Great Sarykum entirely belong to the first group; the hilly and peripheral sands, which characterized by fine granulometry, refer to the second mineral subgroup.

The Sarykum's structure is due to the combination of gravelly sands, formed by the river Shura-Ozen' deltaic accumulation in the Late Quaternary, and sandy (with gravels and pebbles) deposits proluvially and deluvially dislocated to the recent Sarykum massif territory from the slopes of the nearby Narat-Tube mountain range. The mixing of originally and compositionally different sediments that formed the Sarykum complex, likely have the complicated history, following by the staged changes of the periglacial landscape-climatic conditions in the Late Quaternary.

Keywords: dune, sand, aeolian landforms, aeolian deposits, granulometric analysis, Sarykum, Dagestan, Caucasus.

doi:10.15356/0435-4281-2016-3-52-78

УДК 551.435.14:551.432.7

© 2016 г. Е.В. ЛЕБЕДЕВА

ВЛИЯНИЕ ЛАВОВЫХ ПОТОКОВ НА СТРОЕНИЕ ДОЛИН И РАЗВИТИЕ РЕЧНОЙ СЕТИ

*Институт географии РАН, Москва, Россия
e-mail: Ekaterina.Lebedeva@gmail.com*

Наблюдения в различных вулканических регионах позволили выявить особенности взаимодействия лавовых покровов и речных потоков. Специфическое строение лав – наличие в них туннелей-лаводоов иногда значительной протяженности – делает возможным формирование на таких участках внутрилавого стока, а в некоторых случаях функционирование водотока продолжается и под лавой, заполнившей его долину. В результате молодой аллювий может залежать не только над, но и под более древними лавами, а также в их полостях. В связи с этим необходимо с осторожностью судить о возрасте лав и аллювия по их взаимному залеганию. Новые врезы на поверхности лавовых покровов формируются не только в их краевых частях – на контакте с менее устойчивыми породами, что хорошо изучено, но и в: 1) эмбриональных долинах – ориентированных вниз по склону понижениях между языками лав, 2) в местах обрушения кровли лаводов, 3) в трещинах, которые способствуют концентрации подлавого стока.

Ключевые слова: лавовый поток, лавовый туннель, эмбриональная долина, водопад, под-лавовый сток.

Вулканические регионы представляют собой особые территории как с точки зрения морфологии рельефа, так и динамики его развития, и, безусловно, спектра рельефообразующих процессов. Интенсивность эндогенных процессов вулканических районов весьма высока: помимо собственно вулканической деятельности, для них характерны сейсмическая активность, зримые горизонтальные и вертикальные смещения земной поверхности. Например, в августе 2012 г. вулканостанция Института вулканологии и сейсмологии в пос. Ключи фиксировала более 100 сейсмических событий разной интенсивности за сутки. Одновременно отмечались рост купола, выбросы пепла и сход пирокластических потоков на вулкане Шивелуч, началось излияние лавы на вулкане Ключевской, а также продолжалось трещинное извержение, формирование шлаковых конусов и протяженных лавовых потоков у подножия вулкана Толбачик. Такая активная эндогенная деятельность быстро и значительно меняет рельеф территории, соответственно, она не может не оказывать влияние и на развитие речной сети. В то же время рельеф, созданный эндогенными силами, непрерывно и также достаточно быстрыми темпами перерабатывается экзогенными процессами, и активную роль в этом играют водные потоки.

Основное влияние на речные долины оказывают излияния лав и выбросы пирокластического материала, а также вулcano-тектонические явления и гидротермальные процессы. И воздействие это не ограничивается непосредственно склонами вулканов и равнинами их подножий, а может распространяться на десятки и даже первые сотни километров от центра извержения¹.

Однако, как правило, регионы современной и четвертичной вулканической активности в большей мере привлекают внимание вулканологов, нежели геоморфологов. Хотя в отечественной геоморфологической литературе имеется ряд весьма интересных работ по Камчатке, среди которых в первую очередь стоит отметить труды И.В. Мелекесцева, О.А. Брайцевой и В.В. Пономаревой, посвященные как общим вопросам геоморфологического строения региона, так и специфике отдельных вулканических массивов. С точки зрения особенностей речной сети этих территорий, общеизвестными фактами является ее преимущественно радиальный рисунок в зонах развития стратовулканов, который сохраняется даже после разрушения самих конусов; постепенная инверсия вулканического рельефа в случае заполнения долин лавовыми потоками; безводность вулканических плато и каньонообразное строение имеющихся там долин [1]. И.В. Мелекесцев в своем фундаментальном труде “Вулканизм и рельефообразование” [2] также подчеркнул, что гидросеть активных вулканических регионов весьма молода и подвержена частым перестройкам. Кроме того, существует ряд интересных публикаций об особенностях функционирования т. н. “сухих” рек у подножий вулканических конусов [3, 4] и о формировании селевых потоков на вулканах [5 и др.].

В то же время изучая аллювиальные отложения, исследователи многих вулканических неактивных в настоящее время регионов Дальнего Востока, неоднократно сталкивались со следами плейстоценовой вулканической деятельности, которая оказала влияние на развитие речных долин Приамурья, Приморья, Байкальского региона, Станового хребта и многих других областей. Здесь периодически встречаются разрезы, где лавы перекрывают древний аллювий, а вулканическая деятельность спровоцировала перестройки речной сети. Так, например, неоднократные мощные кайнозойские излияния базальтов в пределах Сихотэ-Алиня, Восточно-Маньчжурских гор и разделяющих их депрессий в результате создания плотинного эффекта и выполнения долин лавовыми потоками привели к существенной перестройке гидрографической сети региона, причем, как в горных районах, так и на равнинах [6]. В Приморье А.М. Коротким описано 37 подобных случаев в бассейнах рек Самарги, Единки, Бикина, Киевки и др., т. е. около трети всех зафиксированных речных перехватов региона обусловлено вулканической деятельностью [7, 8].

¹ Автор не касается вопросов формирования обширных трапповых плато – результатов гигантских по масштабам извержений, происходивших в палеозойско-мезозойской истории Земли.

Действительно, лавовые потоки и покровы могут приводить к полному переформированию рельефа и перезаложению речной сети (по [9]). Они перегораживают долины, заполняют их и на отдельных участках иногда полностью перекрывают речные долины и водоразделы. Однако механизм влияния вулканической деятельности не всегда хорошо можно понять только из сохранившихся разрезов отложений, которые представляют собой лишь “обрывки” разрозненных сведений. Поэтому нам показалось интересным проанализировать имеющиеся современные примеры взаимодействия лавовых потоков и речной сети. В данной работе мы опирались как на литературные источники, так и на материалы собственных наблюдений в регионах современного и четвертичного вулканизма – на Камчатке, в Исландии, Австралии, Южной Африке и Южной Америке.

Текущесть лавы, как известно, определяется составом магмы, ее температурой, давлением, вязкостью. Эти параметры, однако, могут различаться даже на протяжении одного извержения. Самыми протяженными справедливо считаются базальтовые потоки: их длина может превышать 100 км. Например, среднеплейстоценовый поток Ундара (Квинсленд, Австралия) достигает 160 км при общем объеме 23 км³ и площади 1550 км² [10], а самым протяженным – поток Пампас Ондуладас (пров. Мендоса, Аргентина) – его длина 170 км при ширине около 5 км и объеме более 12 км³, а возраст – около 373 тыс. л. [11]. Самым молодым базальтовым потоком сопоставимой длины (около 140 км) является Тьёрса в Исландии, сформировавшийся в голоцене. Современные образования таких размеров не известны. Так, лавовые потоки основного состава, возникшие при извержении вулкана Толбачик в 1975–1976 гг., имели длину всего 5–9 км при ширине до 6 км, а в 2012–2013 гг. – 8–18 км, от 2 до 15 м мощности. Исключение представляет собой лавовое поле, сформировавшееся в бассейне р. Толуд, толщина которого в пределах верховий притоков указанной реки достигает 70 м [12].

В то же время анализ разнообразных потоков лавы позволил ряду исследователей [13] заключить, что их морфология зависит не только от состава магмы, а в большей мере от скорости движения лавы, которая определяется интенсивностью излияния и характером рельефа подстилающей поверхности. Лавовые потоки легко приспосабливаются к рельефу, выполняя его углубления, в т. ч. и долины рек, постепенно заполняя их и либо спускаясь по ним, либо перегораживая (рис. 1). Так, наиболее протяженные потоки формируются как раз в том случае, если они следуют вдоль речных долин [14]. Например, излияние упоминавшегося выше потока Ундара (Австралия) происходило на равнинной территории междуречья рек Энасли и Линд и его языки заполнили как их долины, так и врезы их небольших притоков – ручьев Кассиди, Элизабет, Джанкшен и др.

Весьма примечателен в этом отношении поток Эль Корково протяженностью около 70 км и объемом до 2 км³, перекрывший равнинную территорию на юге пров. Мендоса (Аргентина) на площади около 415 км². Примерно 840 тыс. л. н. [15] он вышел на пойму р. Колорадо и перегородил русловые понижения на многорукавном участке долины реки (рис. 2А), а затем частично спустился вниз по этим руслам в виде небольших языков (рис. 2Б). Глубина палеоврезов составляла здесь около 5 м, а мощность перекрывших их лав – до 10 м. В настоящее время р. Колорадо сместилась на этом участке, по крайней мере, на 1 км к югу от своего древнего русла и врезалась относительно него примерно на 15 м. Заполненный лавой фрагмент долины превратился в сниженный водораздел, где под толщей эффузивов вскрываются сцементированные речные галечники ранне-четвертичного возраста.

Поверхность потоков эффузивов, выполняющих речные долины, как правило, слабовыпуклая, поэтому водоток начинает врезаться в их наиболее пониженных участках – обычно вдоль борта долины на контакте с нередко менее прочными породами (рис. 1), если конечно, нет просадок в центральной части потока. В то же время вытесненная лавой из долины река при формировании нового русла может и вовсе покинуть свою долину через сниженный участок водораздела и присоединиться к другой речной системе [8].

Нередко лавовые потоки перегораживают долину поперек и тогда возникают подпружные озера. Так, в результате слияния лавовых потоков с вулканов Кронцоцкого и Крашенинникова и подпруживания р. пра-Лиственничной [2] произошло образование



Рис. 1. Новый врез р. Киргурич (на переднем плане) вдоль молодого лавового потока 1966 г., заполнившего долину реки (СВ склон вулкана Ключевской, Камчатка). Здесь и далее фото автора

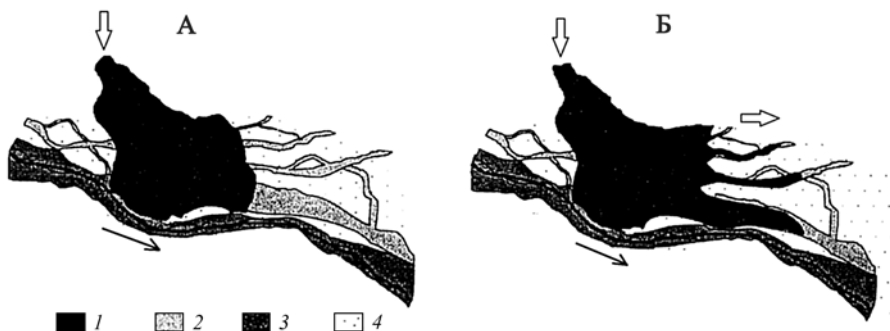


Рис. 2. Этапы трансформации (А, Б) лавового потока Эль Корково на пойме р. Колорадо (Аргентина) в плейстоцене (по [15])

1 – дистальная часть лавового потока, 2 – палеоруsla и притоки р. Колорадо, 3 – современное русло р. Колорадо, 4 – аллювиальные отложения. Стрелками показано направление течения: белая – лавового потока, черная – реки

оз. Кроноцкого (Камчатка). В случае разрушения подпруды озеро может постепенно прекратить свое существование, но на месте плотины нередко формируется водопад. При создании высоких лавовых плотин возможен также перелив вод подпрудного озера через низкий боковой водораздел в соседний речной бассейн с последующим формированием на этом месте нового долинного вреза. В результате также происходит межбассейновая перестройка речной сети.

Сами лавовые потоки, как правило, формируются импульсами – в несколько этапов, поэтому их поверхность имеет неровный характер. Наложение потоков разных времен-



Рис. 3. Эмбриональные долины между языками лавовых потоков в бассейне р. Толуд (Толбачинский дол, Камчатка). Хорошо виден ряд суффозионных воронок

ных генераций создает рельеф ориентированных вниз по склону систем понижений и возвышенностей, которые, в свою очередь, служат основой для формирования новой речной сети территории взамен старой, перекрытой лавами. Иногда понижения формируются и между протяженными одновозрастными языками лав. Это хорошо видно на склонах Толбачинского дола (плато у подножия вулкана Толбачик), например, в бассейне р. Толуд. Зимой в них накапливается снег, чему способствует активный метелевый перенос; в период весеннего снеготаяния там концентрируется сток, а летом и осенью – дождевые осадки. Все это позволяет считать эти межлазовые понижения эмбриональными долинами. В связи с высокой пористостью лав на начальных этапах там доминирует суффозия и сток носит преимущественно подповерхностный характер (рис. 3).

Для базальтовых лавовых потоков также весьма характерны лавовые туннели (лавоводы), по которым продолжается течение лавы, когда поверхность покрова уже затвердела (рис. 4А). Такие туннели образуются в процессе течения потоков лавы как по пологим склонам вулканов (напр., Килауеа, Гавайи [16]), так и в пределах хорошо морфологически выраженных речных долин (Видгельмир, Стефаншеллир и др. в бассейне р. Квита, Исландия – рис. 4Б) или на равнинных участках (Ундара, Квинсленд, Австралия). Они также могут выходить на прибрежные отмели и уходить под уровень океана (рис. 4В). В плане туннели имеют извилистую форму, их сечение напоминает овал, вертикальные размеры которого несколько превышают ширину и в целом колеблются от 3–5 до 10–20 м при длине сохранившихся фрагментов от десятков метров до нескольких километров. Например, на севере Австралии (Ундара, Квинсленд) сохранилась сложная система бифуркирующих туннелей среднеплейстоценового возраста с расширениями до 60–100 м и общей протяженностью до 90 км и более [10].

По бортам туннелей (в их нижней части – как правило, на отметках 0.8–1.2 м) встречаются протяженные выпуклые валики сечением 5–10 см, фиксирующие уровень потока лавы (вероятно, на завершающем этапе функционирования лавовода). Хотя в целом,

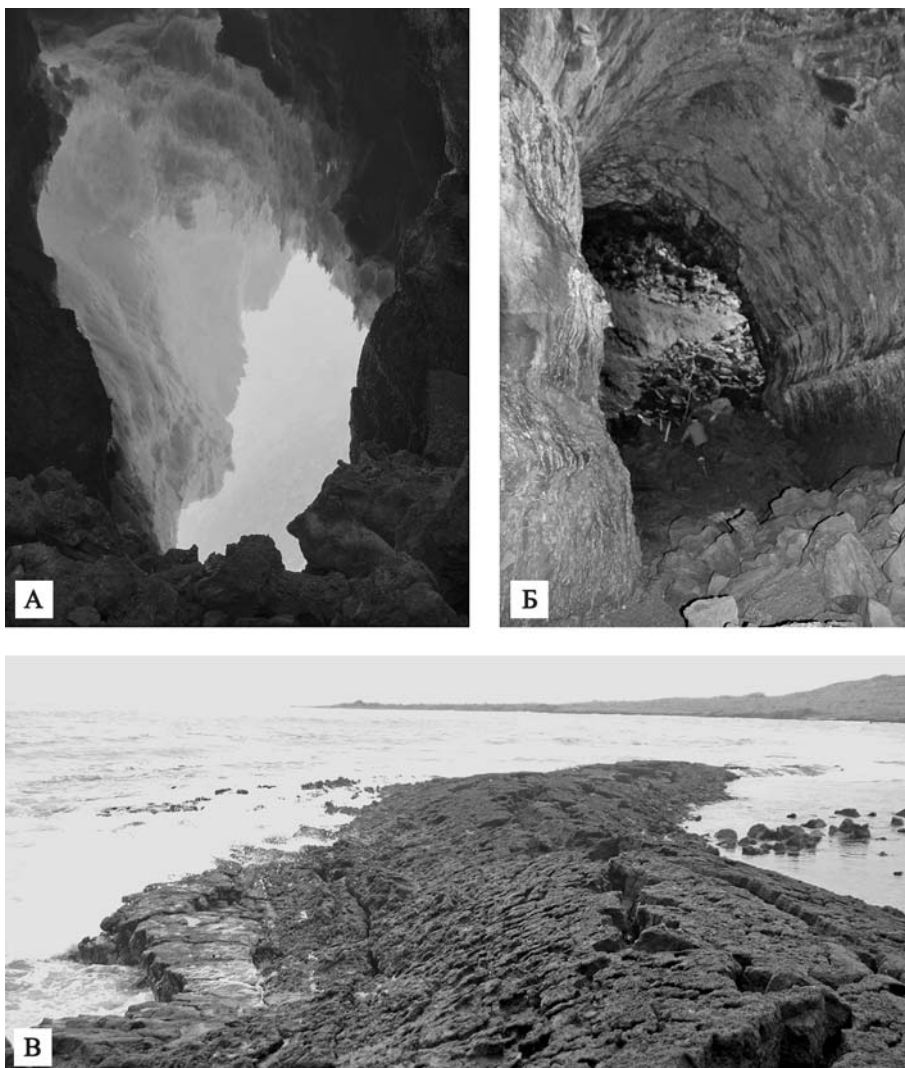


Рис. 4. Лавовые туннели

А – “окно” в активный лавоход (окрестности вулкана Толбачик, Камчатка, август 2013 г.); Б – туннель Видгельмир в бассейне р. Квита (Исландия); В – извилистая поверхность лавового туннеля, уходящего под уровень моря (о-в Исабела, Эквадор)

по нашим наблюдениям 2013 г. в Толбачинском доле, уровень лавы в лавоводе может варьировать в пределах нескольких метров в течение дня – в зависимости от интенсивности извержения, которое носит пульсирующий характер. В результате детальных исследований вулканологов [12] установлено, что при извержении 2012–2013 гг. вулкана Толбачик у его подножия также сформировалась весьма сложная система разноуровневных и разноориентированных бифуркирующих лавовых туннелей, располагающихся на глубинах от 1 до 20 м от поверхности. Диаметр туннелей колеблется здесь от 1 до 10 м при общей длине до 5 км. При этом основной туннель имеет протяженность до 3 км и диаметр около 10 м. Вдоль всех лавоводов наблюдаются “окна” от 2–3 до 15 м в поперечнике [17], через которые выходили выделяемые лавой газы (рис. 5). Интересно отметить, что количество и размеры туннелей близ вулкана Толбачик в 2012–2013 гг.

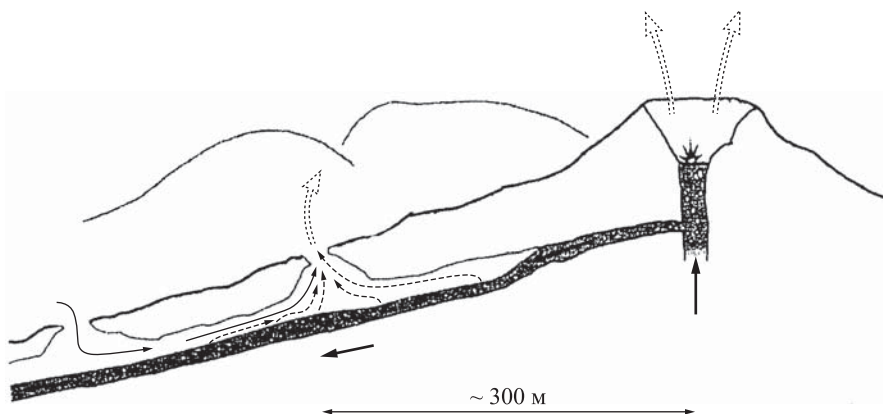


Рис. 5. Схема формирования лавового туннеля у шлакового конуса Набоко при трещинном извержении вулкана Толбачик 2012–2013 гг. [по 18]

Черным цветом показана лава и направления ее движения, тонкими стрелками – направления движения газов в лавоводе, прозрачными – выход вулканических газов на поверхность

превышали таковые параметры извержения 1975–1976 гг., т.е. наличие лавоводов во многом зависит от состава и характера магмы, в т.ч. ее газонасыщенности.

При завершении извержения туннели, как правило, остаются пустыми, но иногда они используются на последующих этапах эндогенной активности. Такое явление, например, было установлено [17] для долины р. Жом-Болок (Окинское плоскогорье), когда лавы последнего этапа извержения (около 800 л. н.), используя туннели голоценового возраста, неожиданно сформировали небольшие молодые покровы в разных участках долины р. Жом-Болок среди старых фрагментов лавовых полей. Так как течение лавы идет преимущественно вниз – по долинам или общему уклону рельефа, то и лавоводы ориентированы соответствующим образом. Например, уклон туннеля 2013 г. у подножия Толбачика составляет $3\text{--}5^\circ$ [12], а на равнинной территории Квинсленда (Ундара) он колеблется от 0.1 до 2.5° [10]. Поэтому неудивительно, что впоследствии такие полости могут использоваться и водотоками, в том числе теми, долины которых и заполнила лава. Дно неактивных туннелей, как правило, покрыто глыбами и щебнем эффузивов, сформировавшихся в результате частичного обрушения сводов. Однако в некоторых случаях, как, например, в туннелях Ундара (Квинсленд, Австралия), они перекрыты влажными тонкими песчаными и илистыми наносами, иногда даже со знаками ряби и небольшими остаточными водоемами, также здесь на бортах лавоводов видны следы паводков. В самом туннеле создается полная иллюзия, что ты идешь не по лавоводу, а по слегка обсохшему руслу подземной реки с отдельными сохранившимися бочажками. Очевидно, что в периоды паводков речки и ручьи бассейнов рек Линд и Энасли, вынужденные заложить свои новые долины по периферии лавового потока, используют для стока эти протяженные подземные пустоты, которые идут по их древним долинам. Ввиду слабой изученности внутреннего строения лавовых потоков и покровов и частого отсутствия поверхностного стока в их пределах, такое явление практически не описано в литературе. Однако наши наблюдения не позволяют в этом сомневаться. В пользу возможности существования подземного стока в лавовых туннелях свидетельствует и тот факт, что в холодных регионах (Исландия) многие лавоводы частично заполнены замерзшей водой – льдом (в частности, Лофтеллир и др.).

Кровля лавоводов с течением времени разрушается – в первую очередь в районе т. н. “окон”, и в местах образующихся провалов могут формироваться отдельные озера (как, например, на о-ве Исабела, Эквадор) или их цепочки (р. Жом-Болок, Окинское плоскогорье, Саяны). Глубины таких водоемов соответствуют параметрам туннеля,

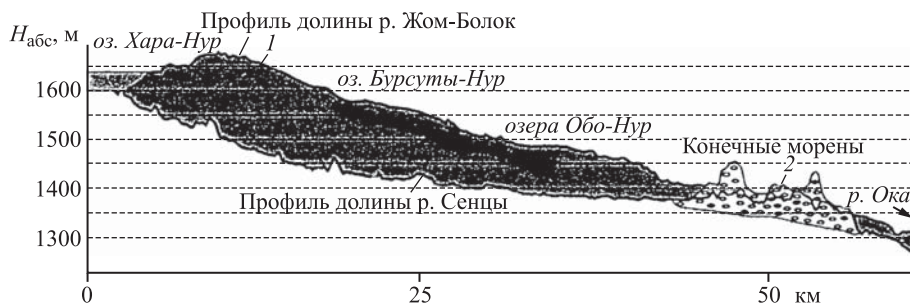


Рис. 6. Продольный профиль лавового потока Жом-Болок и его мощность (по [17])
1 – лава, 2 – морена

нередко они являются проточными, несмотря на отсутствие видимого поверхностного стока, и соединяются друг с другом под землей водотоком, идущим по лавоводу.

Упомянутая долина р. Жом-Болок является одним из наиболее интересных объектов, где сосредоточены многие из описанных выше примеров взаимодействия лавовых и речных потоков. Еще С.С. Воскресенский [19], рассматривая причины перестроек речной сети в вулканических областях, приводил ее в качестве наиболее яркого примера. Исследования последних лет позволили установить многие детали формирования этого интереснейшего геолого-геоморфологического феномена. В результате трещинного излияния базальтов в голоцене – около 7 тыс. л. н. [17, 20] – здесь сформировался 70-километровый лавовый поток шириной до 2 км и мощностью до 150 м, который заполнил падь Хи-Гол, днище троговой долины Жом-Болок, перекрыв позднелейстоценовые ледниковые отложения, и почти на 10 км выдвинулся в долину р. Оки. Предшествующие (13 тыс. л. н.) и последующие (0.8–4.7 тыс. л. н.) излияния носили здесь гораздо более скромный характер.

Сравнение продольных профилей двух субпараллельных речных долин (рис. 6) – р. Сенцы и заполненной лавой р. Жом-Болок – позволило рассчитать общий объем излившейся лавы, который достигает 7.9 км^3 . Хорошо видно также, что в целом профиль поверхности лавового потока лишен характерного для исходного профиля долины прогиба и является не вогнутым, а почти прямолинейным; при этом сама мощность лавы при удалении от источника извержения постепенно сокращается. Поперечный профиль потока несколько прогнут в осевой части долины, что обусловлено наличием там частично разрушенных туннелей, существование которых в толще жомболокской лавы подтверждается многими исследователями [17, 20].

В результате подпруживания лавой притоков р. Жом-Болок в их приустьевых частях образовались три подпрудно-лавовых озера, самым крупным из которых является Хара-Нур (площадь более 33 км^2). Все озера и, соответственно, образовавшие их притоки имеют сейчас подлазовый сток [21, 22]. Река Жом-Болок сначала также течет под лавовым покровом, а от оз. Бурсуты-Нур следует по узкому и порожиному руслу, проложенному в центральной части долины, основой которого, судя по морфологии, стал лавовод с обрушившимся сводом.

В точке резкого поворота долины реки на восток ее русло представляет собой цепочку проточных озер Обо-Нур общей протяженностью около 5 км и глубиной до 15–20 м. Между собой озера соединены короткими (50–100 м), преимущественно внутрилавовыми водотоками. А.А. Щетников [22] трактует эти озера как просадки лавового покрова. Особенности их морфологии и морфометрии свидетельствуют о том, что они также возникли в месте частичного разрушения лавового туннеля, для которого как раз типичны такие параметры. Кроме того, на всем протяжении долины в понижениях лавы отмечены небольшие озера глубиной 2–3 м, вероятно, сформировавшиеся при обрушении кровли приповерхностных лавовых пещер.

Спецификой свойств лавового потока можно объяснить и другой феномен долины р. Жом-Болок. Так, еще П.А. Кропоткиным [23] в среднем течении реки на поверх-



Рис. 7. Правобережье среднего течения р. Квита (Исландия): воды притока реки выходят из-под лавового потока, перегородившего долину, и формируют серию живописных водопадов Храунфоссар. Широкими стрелками и пунктиром обозначена поверхность лавового потока, тонкая стрелка – направление течения р. Квита

ности голоценовых лав были описаны обломки гранита размерами до $2 \times 3 \times 5.2$ м, которые явно были перемещены из верховьев этой долины. Предполагался их ледниковый генезис, однако характер поверхности и возраст лав исключают такую возможность. Сомнительна и вероятность паводка такой мощности. В то же время, несмотря на свою подвижность (скорость течения лавовых “рек” основного состава, например, при Толбачинском извержении 2012–2013 гг. достигала 1–3 м/сек [12]), базальтовые лавы даже в жидком состоянии (при температуре 900–1000°C) обладают значительной плотностью и быстро покрываются коркой, в результате чего они способны переносить на своей поверхности обломки пород меньшей плотности (каковым и является гранит) на значительные расстояния.

Пример долины р. Жом-Болок показывает, что сток воды может идти и по туннелям внутри лавового потока, и непосредственно под ним. И такое явление встречается не так уж редко. Хороший пример подлавового стока – система мелких водопадов Храунфоссар на правобережье среднего течения р. Квита (Hvita) в Исландии (рис. 7). Здесь лава перегородила приустьевую часть притока этой реки, но водоток продолжает функционировать и впадает в Квиту в виде распластанного подлавового потока шириной около 1 км. Так как в данной ситуации его врезание по сравнению с главной рекой замедлено, то в настоящее время он представляет собой серию небольших водопадов.

Возможность подлавового стока определяется структурой подстилающей поверхности, характером лавы, но, главное, особенностями питания реки, в первую очередь, существенной долей его подземной составляющей. Так, при наличии активного подземного питания в пределах лавовых полей может идти не только подлавовый сток, но и формируются новые водотоки, причем даже в условиях засушливого климата. Образование в лавовом покрове трещин способствует локализации подлавовых грунтовых вод и образованию небольших долин-каньонов с активным течением. Это наблюдается даже в весьма засушливых условиях (при минимальном дождевом питании), как, например, в пределах упоминавшихся выше плейстоценовых вулканических полей пров. Мендоса, где годовое количество осадков составляет всего около 200 мм.



Рис. 8. Трещина-каньон с водотоком в лавовом потоке (Мендоса, Аргентина)

Здесь, в непосредственной близости от долин достаточно крупных и непересыхающих рек – Колорадо, Рио-Гранде и др., имеющих преимущественно подземное питание, сформировались и новые водотоки, в настоящее время представляющие собой небольшие трещины-каньоны шириной 1–3 м и видимой глубиной 3–6 м и более, в которых в период наших наблюдений (февраль 2010 г.) был отмечен активный сток (рис. 8). Очевидно, что в дальнейшем эти трещины под воздействием флювиальных процессов могут превратиться в полноценные каньонообразные долины, столь характерные для вулканических плато. Близкая ситуация наблюдалась нами и на крайне засушливой южной оконечности о-ва Санта-Крус (близ г. Пуэрто-Айора, Эквадор), где в протяженной и глубокой трещине отмечен достаточно активный приток пресной воды, приведший к возникновению в прибрежной зоне опресненного водоема.

Еще одной важной особенностью рек вулканических регионов являются водопады, которые так или иначе связаны с потоками или покровами лав и во многом благодаря им возникли, в том числе и такие крупные, как Виктория и Игуасу. Вулканическая Исландия насчитывает несколько сотен водопадов, высоты которых достигают почти



Рис. 9. “Органные трубы” водопада Эбор на р. Гай Фоукс (Новый Южный Уэльс, Австралия)

200 м [24]. Так, на развитие долин (помимо других особенностей территории) влияет литологический фактор: в местах выхода прочных эффузивов попятная и глубинная эрозия реки снижается на порядки. Лавовые покровы становятся местным базисом, к которому оказывается привязанным развитие вышележащей части бассейна реки. Таким образом, выходы прочных пород, и в частности лав, в русле водотока изменяют характер его развития: бассейн как бы разбивается на две части, формирование которых идет во многом независимо друг от друга.

Водопады вулканических регионов и морфологически обладают своей спецификой. Выходы горизонтально слоистых лав способствуют формированию иногда достаточно обширного мелководного участка распластанного течения выше водопада. Так, четковидное расширение долины р. Замбези выше водопада Виктория (Зимбабве – Замбия) достигает общей ширины более полутора километров. Для водопадов в вулканических породах также часто характерны горизонтальные ступени, иногда весьма обширные (напр., водопад Гульфосс, Исландия), которые обусловлены слоистостью лав. Если же эффузивы имеют хорошо выраженные столчатые отдельности, то формируются т. н. “органные трубы”, которые придают водопадам особую живописность и выразительность (рис. 9).

Трещиноватость лав имеет большое значение, как для морфологии водопада, так и всей долины. Вернемся еще раз к водопаду Виктория. На мелководном участке выше водопада р. Замбези делится на несколько рукавов, которые затем обрушиваются в глубокую (около 110 м) и узкую (всего 50–100 м) трещину протяженностью около 2 км (рис. 10). Далее река течет по узкому (местами всего около 20 м) зигзагообразному каньону глубиной до 250 м и протяженностью до 200 км, прорезанному в столчатых базальтах. Образование каньона подобной формы обусловлено существованием двух систем диагональных трещин в лавах – ВЮВ и ЗЮЗ направлений, которые и определяют плановые очертания этого фрагмента долины. Уникальность данного водопада обусловлена тем, что фронт попятной эрозии большую часть времени не совпадает с фронтом водопада, а находится под острым углом к нему. То есть, когда фронт водопада соответствует, например, трещине ВЮВ ориентировки, то попятная

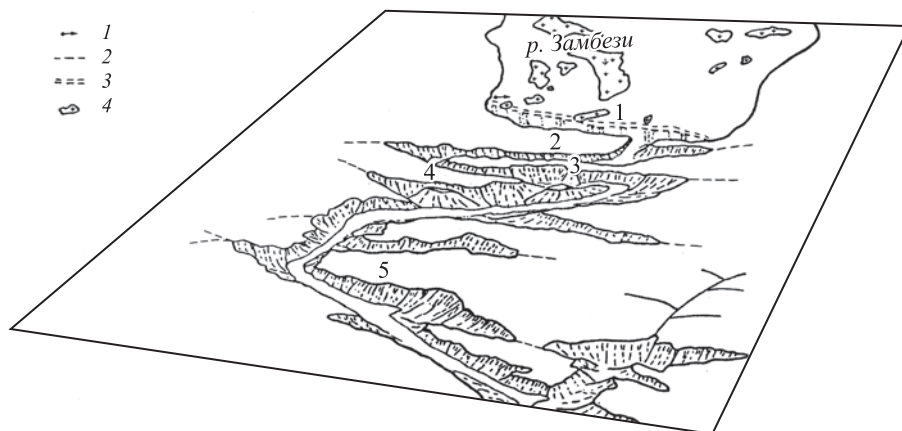


Рис. 10. Схема строения долины р. Замбези у водопада Виктория (по [25])
 1 – направление современной попятной эрозии, 2 – ориентировка трещин в базальтах, 3 – фронт водопада, 4 – острова в русле р. Замбези. Цифрами показано положение фронта водопада на разных этапах развития

эрозия наиболее активно идет по трещине (ослабленной зоне) ЗЮЗ ориентировки – до тех пор, пока он не достигнет пересекающей его ВЮВ трещины. И тогда весь процесс начинается заново. При этом протяженность зоны активной эрозии не сопоставима с шириной водопада и составляет всего от 3–5 и до 20–100 м на разных участках и зависит от ширины трещины и этапа развития водопада [26]. Таким образом, в рассмотренном случае фронт эрозии не перпендикулярен течению (как это бывает обычно), а идет по системе описанных выше диагональных трещин.

Выводы

Наблюдения в различных вулканических регионах позволили выявить интересные, в отдельных случаях новые особенности взаимодействия лавовых покровов и речных потоков. В частности, установлено, что в пределах некоторых потоков и покровов эффузивов наблюдается подлавовый и внутрилавовый сток, т. е. особенности внутреннего строения лав (наличие в них туннелей-лавоводов) и характер подстилающей поверхности могут позволить водотокам использовать сформировавшиеся как в лаве, так и под ней пустоты для своего дальнейшего функционирования. В результате, в некоторых случаях более молодой аллювий может залегать не над, а под более древними лавами, а также в их полостях. Следовательно, необходимо с осторожностью судить о возрасте лав и аллювия по их взаимному залеганию.

Формирование новых эрозионных врезов на поверхности лавовых потоков и покровов может идти несколькими путями. Во-первых, водоток может использовать в качестве русла понижения, сформировавшиеся при обрушении кровли приповерхностного лавовода, и постепенно разрабатывать новый врез там. Во-вторых, многоэтапность формирования лавовых потоков способствует возникновению в их пределах (как правило, ближе к их периферии) серии вытянутых вниз по уклону рельефа понижений, которые можно рассматривать как эмбриональные долины, которые концентрируют поверхностный сток и дают начало возникновению новой речной сети. В-третьих, большую роль играет образование в застывшей лаве трещин как тектонической, так и вулканической природы. Эти трещины определяют места заложения долин каньонообразной формы и способствуют концентрации подлавового стока. Трещины также определяют плановые очертания долин (иногда весьма сложные) и ориентировку фронта водопадов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шукин И.С.* Общая геоморфология. Т. 2. М.: Изд-во МГУ, 1964. 562 с.
2. *Мелекесцев И.В.* Вулканизм и рельефообразование. М.: Наука, 1980. 212 с.
3. *Краевая Т.С.* Сухие реки районов Ключевской и Авачинской групп вулканов // *Вопр. географии Камчатки. Петропавловск-Камчатский: Дальневост. кн. изд-во, 1964. Вып. 2. С. 56–63.*
4. *Куксина Л.В., Чалов С.Р.* Сток взвешенных наносов рек территорий современного вулканизма Камчатки // *География и природные ресурсы. 2012. № 1. С. 103–110.*
5. *Черноморец С.С., Сейнова И.Б.* Селевые потоки на вулканах. Уч. пособие. М.: УНЦ ДО, 2010. 72 с.
6. *Лебедева Е.В.* Перестройки речной сети // *Геоморфология. 2012. № 3. С. 21–32.*
7. *Короткий А.М., Макарова Т.Р.* Палеогеографические и геоморфологические аспекты устойчивости геосистем в бассейнах горных рек. Владивосток: Дальнаука, 2005. 293 с.
8. *Короткий А.М.* Причины и механизмы перестроек речной сети, и их влияние на геоморфологические процессы в Приморье // *Геоморфология. 2010. № 2. С. 78–91.*
9. *Лютцау С.В.* Факторы и способы перестройки эрозионных систем // *Проблемы перестройки и перехвата речных долин. М.: МФ ГО, 1973. С. 39–49.*
10. *Atkinson A., Griffin T.J., and Stephenson P.J.* A major lava tube system from Undara volcano, North Queensland // *Bul. Volcanologique. 1975. Vol. XXXIX-2. P. 1–28.*
11. *Espanon V.R., Chivas A.R., Phillips D., Matchan E.L., and Dosseto A.* Geochronological, morphometric and geochemical constraints on the Pampas Onduladas long basaltic flow (Payun Matru Volcanic Field, Mendoza, Argentina) // *Journ. of Volcanology and Geothermal Research. 2014. No. 289. P. 114–129.*
12. *Belousov A., Belousova M., Edwards B., Volynets A., and Melnikov D.* Overview of the precursors and dynamics of the 2012–13 basaltic fissure eruption of Tolbachik Volcano, Kamchatka, Russia // *Journ. of Volcanology and Geothermal Research. 2015. No. 307. P. 22–37.*
13. *Farquharson J.I., James M.R., and Tuffen H.* Examining rhyolite lava flow dynamics through photo-based 3D reconstructions of the 2011–2012 lava flowfield at Cordón-Caulle, Chile // *Journ. of Volcanology and Geothermal Research. 2015. No. 304. P. 336–348.*
14. *Johnson D.* The geology of Australia. Second ed. Melbourne: Cambridge Univ. Press, 2009. 348 p.
15. *Bernardi M.I., Bertotto G.W., Jalowitzki T.L.R., Orihashi Y., and Ponce A.D.* Emplacement history and inflation evidence of a long basaltic lava flow located in Southern Payenia Volcanic Province, Argentina // *Journ. of Volcanology and Geothermal Research. 2015. No. 293. P. 46–56.*
16. *Orr T.R., Bleacher J.E., Patrick M.R., and Wooten K.M.* A sinuous tumulus over an active lava tube at Kilauea Volcano: Evolution, analogs, and hazard forecasts // *Journ. of Volcanology and Geothermal Research. 2015. No. 291. P. 35–48.*
17. *Ivanov A.V., Arzhannikov S.G., Demonterova E.I., Arzhannikova A.V., and Orlova L.A.* Jom-Bolok Holocene volcanic field in the East Sayan Mts., Siberia, Russia: structure, style of eruptions, magma compositions, and radiocarbon dating // *Bul. of Volcanol. 2011. Vol. 73. P. 1279–1294.*
18. *Zelenski M., Malik N., and Taran Yu.* Emissions of trace elements during the 2012–2013 effusive eruption of Tolbachik volcano, Kamchatka: enrichment factors, partition coefficients and aerosol contribution // *Journ. of Volcanology and Geothermal Research. 2014. No. 285. P. 136–149.*
19. *Воскресенский С.С.* Причины и развитие речных перехватов // *Пробл. перестройки и перехвата речных долин. М.: МФ ГО, 1973. С. 8–15.*
20. *Аржанников С.Г., Иванов А.В., Аржанникова А.В., Демонтерова Е.И.* Долина вулканов в Восточном Саяне // *Планета. 2014. № 5/6. С. 67–83.*
21. *Сковитина Т.М.* Плотинные озера Саяно-Байкальской Становой горной области // *Геоморфология. 2002. № 3. С. 79–88.*
22. *Щетников А.А.* Озера Окинского плоскогорья // *Геоморфология. 2002. № 3. С. 88–95.*
23. *Кропоткин П.А.* Поездка в Окинский караул // *Научное наследство. Т. 25. Петр Алексеевич Кропоткин. Естественнонаучные работы. М.: Наука, 1998. 270 с.*
24. *Gudmundsson A.T.* Living Earth – Outline of the geology of Iceland. Reykjavik: Forlagid, 2013. 408 p.
25. *King L.C.* South African Scenery. Third edition. Edinburg and London: Oliver&Boyd, 1963. 308 p.
26. *Лебедева Е.В.* О некоторых формах флювиального рельефа Южной Африки и специфике их развития в условиях изменения природных обстановок // *Геоморфология. 2010. № 4. С. 58–71.*

Поступила в редакцию 26.02.2016

LAVA FLOWS INFLUENCE ON VALLEYS STRUCTURE AND RIVER NETWORK DEVELOPMENT

E.V. LEBEDEVA

*Institute of Geography RAS, Moscow, Russia
e-mail: Ekaterina.Lebedeva@gmail.com*

Summary

Observations in various volcanic regions revealed the features of the interaction of lava covers and river flows. The specific structure of the lava flows – the presence of lava tubes considerable length – leads to the fact that waterways can use these voids within the lava flow and in some cases watercourse continues under lava that filled his valley. As a result sometimes younger alluvium may lie not only above, but under more ancient lavas, as well as in their cavities. So it's necessary to be careful to define the age of lavas and alluvium on their mutual bedding. New incisions on the surface of lava covers are formed not only in their marginal parts – on contact with the less resistant rocks that has been well studied, but also: 1) in embryonic valleys – downhill oriented fallings between lava flows, 2) above lava tubes in places of their roofs collapse and 3) in the cracks, which contribute to the concentration of underground waters.

Keywords: volcanic processes, lava flow, lava tube, embryonic valleys, waterfall, underlava drainage.

doi:10.15356/0435-4281-2016-3-78-91

УДК 551.435.326→556.557(567)

© 2016 г. Д.А. СУБЕТТО^{1,2}, Ал. НУАИРИ Б.Х.², В.М. ФИРСЕНКОВА², В.В. БРЫЛКИН²

ДИНАМИКА БЕРЕГОВ ВОДОХРАНИЛИЩА ХАМРИН (ИРАК)

¹*Ин-т водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия*

²*Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена,
С.-Петербург, Россия
e-mail: subetto@mail.ru*

Водохранилище Хамрин отличается необычной формой, большой площадью зеркала, небольшой глубиной и значительными колебаниями уровня. Интенсивное заиливание водохранилища обусловлено поступлением материала с твердым стоком реки и со склонов котловины, в днище которой оно находится. В сезон дождей по руслам временных водотоков выносятся материал, откладывающийся на конусах выноса в подножии склонов. В зимне-весенний период наполнения водохранилища, при высоком уровне стояния воды и усилении волновой деятельности образуются различные формы подводного и надводного берегового рельефа. Они нивелируются сельскохозяйственной техникой, эрозийными и эоловыми процессами. В летний сухой сезон часть акватории осушается. Аккумулятивные процессы развиваются при слабой волновой деятельности; большую роль при этом играет размокание песчано-глинистого материала, слагающего нижние части подводных береговых склонов. Осушенная часть вовлекается в сельскохозяйственное производство. Ежегодное обновление рельефа береговой зоны стимулирует активность абразионно-аккумулятивных, антропогенно-ускоренных эрозийных и естественных склоновых процессов, поэтому скорость отступления берегов не снижается. Антропогенно-природная система водохранилища находится, в стадии активизации, когда еще не сформировались устойчивые связи между новым рельефом и факторами внешней среды, поэтому интенсивность переформирования берегов не снижается, и заиливание водохранилища будет продолжаться.

Ключевые слова: водохранилище Хамрин (Ирак), эрозийные процессы, переформирование берегов.

В Ираке, как и в других аридных областях, одной из важнейших экологических проблем является проблема водных ресурсов. Для ее решения в последние десятилетия в стране было построено несколько крупных наливных водохранилищ на основных источниках поверхностных вод Ирака – реках Тигр и Евфрат, а также на их притоках общей площадью зеркала 6880 км², объемом – 149.2 км³. Водохранилище Хамрин, созданное на р. Дияла – левом притоке Тигра (рис. 1), занимает четвертое место по