

УДК 551.762:551.21(571.56)

ВУЛКАНОГЕННЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ КАНГАЛАССКОЙ ТЕРРАСЫ (ЛЕВЫЙ БЕРЕГ РЕКИ ЛЕНА, ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЯКУТИЯ)

Костин А.В., Трунилина В.А.

*ФГБУН «Институт геологии алмаза и благородных металлов» Сибирского отделения
Российской академии наук (ИГАБМ СО РАН), Якутск, e-mail: kostin@diamond.ysn.ru*

Территория Лено-Вилуйского водораздела до недавнего времени считалась амагматичной. Первые проявления вулканической деятельности на этой площади были обнаружены в 2014 г. в 270 км к западу от города Якутск. Признаки вулканической деятельности вблизи города Якутска первоначально были выделены на космических снимках Microsoft Bing Maps, а в 2016–2017 гг. на левом берегу реки Лена впервые были установлены вулканические сооружения двух типов. Первый – небольшие купольные структуры с лавовыми и шлаковыми конусами, второй – покровы, приуроченные к лавовыводящим разломам. Вулканические породы представлены андезитобазальтами, андезитами, дацитами и риодацитами. Крупные пустоты в лавах обычно заполнены кристобалитом. Состав и взаимоотношения вулканических пород и присутствующих в них ксенолитов позволяют предполагать гомодромную направленность эволюции магматизма района. В лавовых полях определены вариолитовые разновидности андезитобазальтов и андезитов. В вариолитовых андезитах обнаружены включения графитизированного угля с четкими контактами. Поисковым признаком вулканических образований являются вулканические туфы, которые ранее рассматривались как горельники. При изучении вулканических пород нами установлено отсутствие следов горения контактирующих с ними углей. Туфы выделяются по характерным красным оттенкам на космических снимках и в природных обнажениях. В красных литокристаллокластических туфах присутствует захороненная в процессе роста флора верхнеюрских папоротников, что характеризует аналогичный возраст проявления вулканизма. Магмогенерация базальтового и андезитового расплава проходила при давлении 1,4 и 1,2 ГПа, дацитового и риодацитового – 1,1 и 0,9 ГПа при максимальной температуре расплавов соответственно 1150, 1020, 950 и 900 °С.

Ключевые слова: Кангаласская терраса, Центральная Якутия, вулканизм, красные туфы

VOLCANOGENIC CREATIONS OF KANGALASSKY TERRACE (LEFT BANK OF THE LENA RIVER, CENTRAL YAKUTIA)

Kostin A.V., Trunilina V.A.

*Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch of the Russian Academy
of Sciences (DPMGI SB RAS), Yakutsk, e-mail: kostin@diamond.ysn.ru*

The territory of the Lena-Vilyui watershed, until recently, was considered amagmatic. The first signs of volcanic activity in this area was discovered in 2014, 270 km West of the city of Yakutsk. Signs of volcanic activity near Yakutsk were found in Microsoft Bing Maps satellite images, and in 2016-2017 two types of volcanic structures were first discovered on the left Bank of the Lena river. The first one – a small dome structures with lava and slag cones, the second one is confined to lava-removing faults. Volcanic rocks are represented by andesibasalts, andesites, dacites and riodacites, Cavities in lavas are usually filled with cristobalite. The composition and relationships of volcanic rocks and present in xenoliths suggests homodromic sequence of the magmatism evolution in the district. In lava fields are defined variolite varieties of andesibasalts and andesites. In variolitic andesites were found inclusions of graphitized coal with clear contacts. The search feature for volcanic formations are volcanic tuffs, which were previously considered as a burnt rock. In the study of volcanic rocks, we found no traces of combustion of the coal in contact with them. Tuffs stand out with a specific red hue on the SAT-images and in natural outcrops. In red lithocrystalloclastic tuffs was discovered a buried in the process of growth upper Jurassic flora of ferns what characterizes the similar age of volcanism. The formation of basaltic and andesitic melts passed under pressure – 1.4–1.2 GPa, dacites and riodacites 1.1–0.9 GPa at a maximum temperature of melts, respectively, 1150 °C, 1020 °C, 950 °C and 900 °C.

Keywords: Kangalassky terrace, Central Yakutia, volcanism, red tuffs

Рассматриваемая территория, относящаяся к Лено-Вилуйскому водоразделу, до настоящего времени считалась амагматичной. В 2014 г. в пределах Тюгенинской площади были впервые выявлены следы вулканической деятельности и ранее неизвестный вулканический конус (координаты жерла вулкана: N62,50°; E125,72°), сложенный дацитовыми туфами, лавами и лавобрекчиями [1]. При дальнейших полевых исследованиях в Лено-Вилуйском районе были установлены многочисленные «вулка-

нические постройки» небольшого размера, сложенные андезитовыми и дацитовыми туфоловами, их агглютинатами, пемзами с шаровой отдельностью и туфами [2]. Особое внимание при их изучении было уделено туфам, которые занимают самые верхние части разрезов вулканогенных образований, характеризуются четко выраженной грубой слоистостью и имеют характерную окраску – от бледно-красной до кирпичной, вследствие чего часто принимались за горельники.

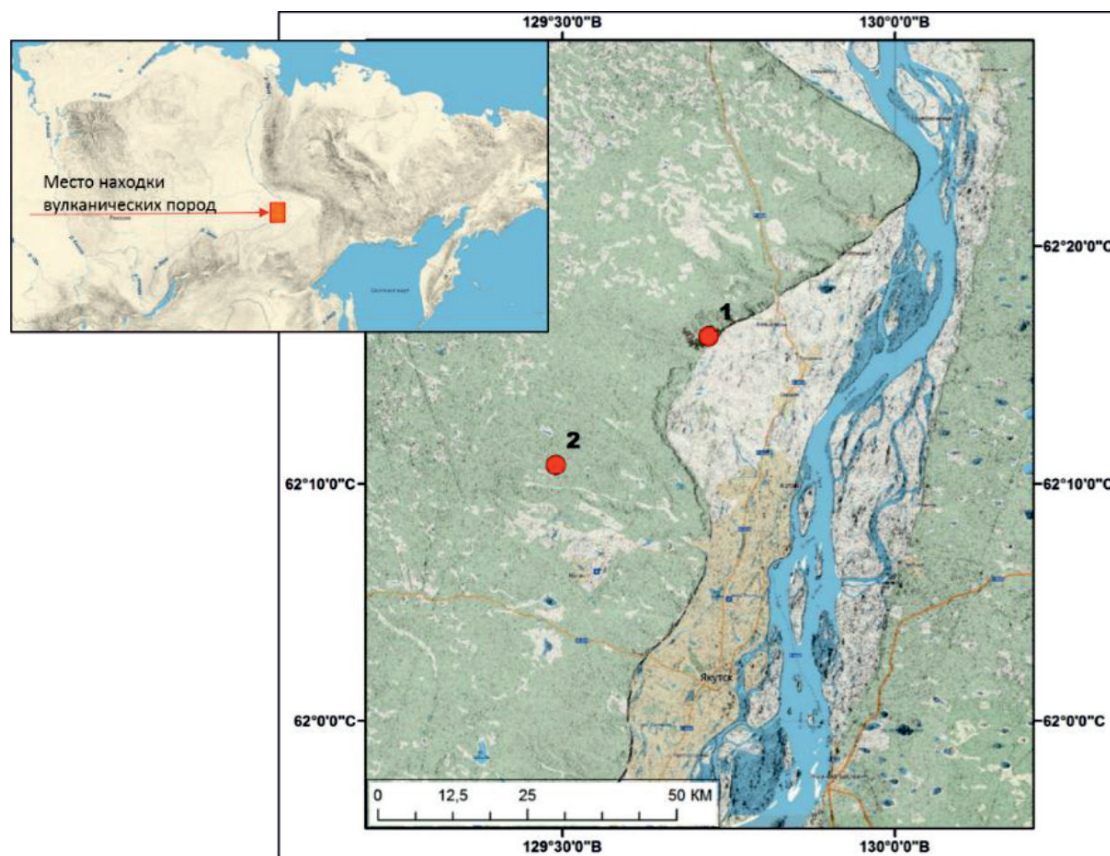


Рис. 1. Расположение проявлений вулканических пород в юрских отложениях Кангалаской террасы: 1 – Молотовская падь; 2 – Намцырское

В 2016–2017 гг. при обследовании коренной террасы в северной части долины Туймаада (рис. 1), в 26 км севернее г. Якутска (левый берег р. Лена, склон Кангалаской террасы), были обнаружены многочисленные, ранее неизвестные коренные выходы вулканических и субвулканических пород. В коренном обнажении около 10 м шириной наблюдались выходы андезитов с большим количеством кристобалита и их подводящий канал, в котором, кроме черных пористых лав, присутствуют округлые, вероятно, оплавленные обломки (до 0,5 м) тяжелых полнокристаллических пород – пикритов. На участке Намцырского тракта [N62,18° E129,49°] в заброшенном карьере среди песков и слабо литифицированных песчаников были обнаружены красные туфы, пемзы, лавы и лавобрекчии риолитов, дацитов и андезитов.

Целью проведенных исследований являлась систематизация и выяснение особенностей состава и генезиса вулканогенных образований Кангалаской террасы.

Материалы и методы исследования

Характерная окраска является важным поисковым признаком вулканических построек и прекрасно дешифрируется на детальных снимках Microsoft BingMap. Это позволило обнаружить многочисленные вулканические сооружения в левом борту Кангалаской террасы. В коренных обнажениях и небольших карьерах были собраны разновидности вулканических пород. Для всех разновидностей пород проведен силикатный анализ, включающий определение суммы окислов элементов. Определение минералогического состава пород неясного генезиса проводилось методом рентгенофазового анализа на дифрактометре D2 PHASER фирмы Bruker. Петрографические особенности пород изучались на оптических микроскопах Olympus BX50 и Leica DM ILM в прозрачных и полированных шлифах. Диагностика и анализ минералов пород выполнены на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6480 LV.

Все исследования проводились в лаборатории физико-химических методов анализа ФГБУН ИГАБМ СО РАН.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследования авторов проведены на двух участках Кангаласской террасы: Молотовская падь и Намцырское, локализованных в пределах Большого Якутска (долина р. Лены между Табагинским и Кангаласским мысами (рис. 1). В геологическом отношении он локализован в зоне сочленения Алданской антеклизы и Виллойской синеклизы. По материалам геологических съемок масштабов 1:200000 и 1:500000, на участке Молотовская падь [N62,25°; E129,70°] породы левого борта р. Лены представлены песчаниками (преобладают) и песками с прослоями и пластами алевролитов, аргиллитов и углей нижневиллойской, марыкчанской и бергеинской нерасчлененных свит верхней юры (J_3nv-br). Выходы пород нижневиллойской свиты в пределах Большого Якутска не известны. Марыкчанская свита сложена чередованием темно-серых и черных аргиллитов и алевролитов, часто углистых, с маломощными прослоями мелкозернистых светло-серых песчаников. Свита включает несколько линз и прослоев бурых углей. Выше согласно залегает бергеинская свита из мощных пластов светло-серых, почти белых песчаников, переслаивающихся с темно-серыми алевролитами и черными углистыми аргиллитами.

На участке Молотовская падь на протяжении 5 км в серии коренных обнажений и их фрагментов и в стенках шести небольших карьеров вскрываются покровы андезито-дацитов видимой мощностью более 20 м и небольшая экструзия дацитов. В некоторых обнажениях наблюдаются выходы пластов бурого угля мощностью до 0,5 м, брекчированные и сцементированные лавой, причем обломки угля в лавах не сгорели.

На участке Намцырского тракта [N62,18° E129,49°] в заброшенном карьере в коренном разрезе вскрываются (сверху вниз): 1 – светло-желтые пески, слабо литифицированные песчаники, гравелиты (5–8 м); 2 – угли (0,5 м); 3 – красные туфы с обильной флорой папоротников и хвощей (1–1,5 м); 4 – лавы, лавобрекчии и пемзы дацит-риодацитового состава (1,5–2 м); 5 – светло-серые песчаники, рассеченные небольшими дайками, выполняющими лавовыводящие трещины (более 3 м).

Петрография вулканогенных образований

При изучении коренных обнажений Кангаласской террасы в 2016–2017 гг. впервые были установлены лавы, лавобрекчии, туфопесчаники и субвулканические породы преимущественно среднего и кислого состава. Фрагментарная обнаженность не позволяет однозначно установить взаимоотношения между всеми разностями вулканитов, но, с учетом данных по Тюгенинскому полю [1] и состава ксенолитов, можно полагать в целом гомодромную направленность эволюции магматизма района: ультраосновные расплавы (ксенолиты пироксенитов и пикритов) → пикробазальты → андезиты (покровы) → дациты, риодациты и риолиты (покровы и экструзии).

Лавы, лавобрекчии и игнимбриты перекрыты отложениями красных туфов и слабо литифицированных песчаников. Вулканические туфы характеризуются четко выраженной грубой слоистостью и имеют характерную окраску – от бледно-красной до кирпичной. Под микроскопом структура их литокристаллокластическая, с пепловым цементом. Здесь кристаллы и угловатые обломки кристаллов полисинтетического сдвойникового кислого плагиоклаза, слабо пелитизированного калишпата и кварца, неправильной формы обособления порфирированного андезита и обрывки стекла сцементированы тонко распыленным пирокластическим материалом, пропитанным гидроокислами железа, что и придает породам характерные оттенки. В ожелезненных пепловых туфах присутствуют разноразмерные, четко очерченные остатки верхнеюрской флоры – листьев и стеблей папоротников, захороненных во время извержения (рис. 2, А, Б и В). Границы между включениями пород и стекла достаточно четкие – спекшиеся туфы, или игнимбриты (рис. 2, Г и Д) [3].

Лавобрекчии представлены разноразмерными обломками гиалопилитовых андезитов или вариолитовых андезибазальтов в пузырчатом стекле гиалиновой структуры дацит-риодацитового состава, содержащем мельчайшие микролиты, оскольчатые зерна и кристаллиты полевого шпата (рис. 2, Е). *Кластолавы* отличаются от них присутствием крупных ксенолитов пироксенитов, в которых зерна частично уралитизированного клинопироксена прорастают лейстами плагиоклаза андезитов. Предположительно такие скопления могут являться вынесенными при излиянии лавы обломками фундамента.

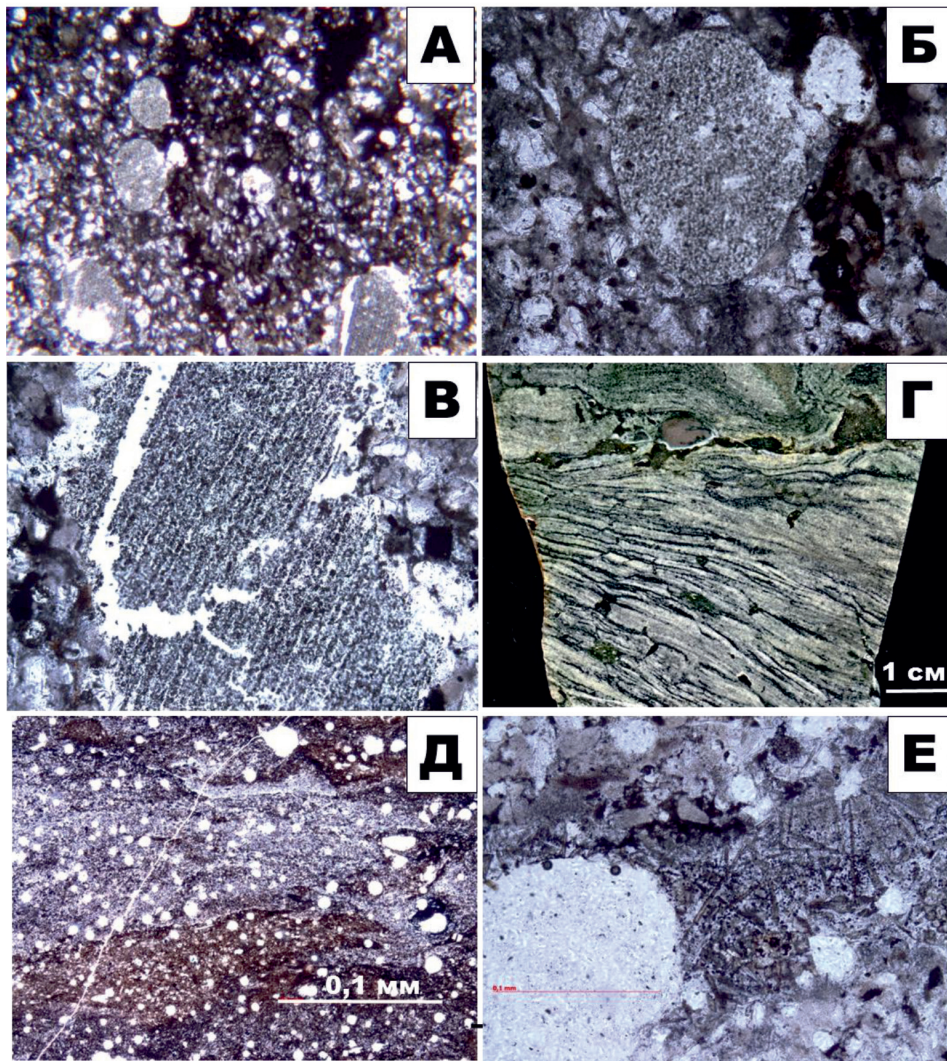


Рис. 2. Разновидности вулканических пород: А – Ожелезненный литокристаллокластический туф с пепловым цементом и остатками стеблей папоротников, шлиф 1043 (николи параллельны); Б – Увеличенный срез стебля папоротника в красном туфе; В – Остатки листа папоротника в ожелезненном пепловом туфе; Г – Игнимбриты правого борта Кангаласской террасы (обр. 1044/3): светлое – обломки пористой лавы с кристаллитами; черное – вытянутые и уплощенные параллельно поверхности светлых пористых лав обрывки и линзы стекла; бурое – ксенолиты оливин-пироксеновой породы; Д – Спекшийся туф (игнимбрит), шлиф 1044/3 (николи параллельны); Е – Обломок вариолитового андезита в пузырчатом даците, шлиф 1044/3д (николи параллельны)

Андезиты и андезибазальты массивные и миндалекаменные, порфиоровые или олигофиоровые, с вкрапленниками полисинтетически сдвойникового основного плагиоклаза в пилотакситовой или интерсертальной основной массе, в которой на фоне разложенного, интенсивно хлоритизированного и ожелезненного стекла наблюдаются тонкие лейсты плагиоклаза и микропризмочки клинопироксена. Вариолитовые андезибазальты мелкопузыри-

стые, сложены лучистыми и радиально-лучистыми сростками игольчатых кристаллов клинопироксена и лабрадора, в промежутках между которыми фиксируется бурое разложенное стекло (рис. 3, А). В них наблюдаются включения черного графитизированного угля размерами до 2–2,5 мм без признаков оплавления. При этом иголки клинопироксена и лейсты плагиоклаза в контакте с углем огибают такие включения (рис. 3, Б).

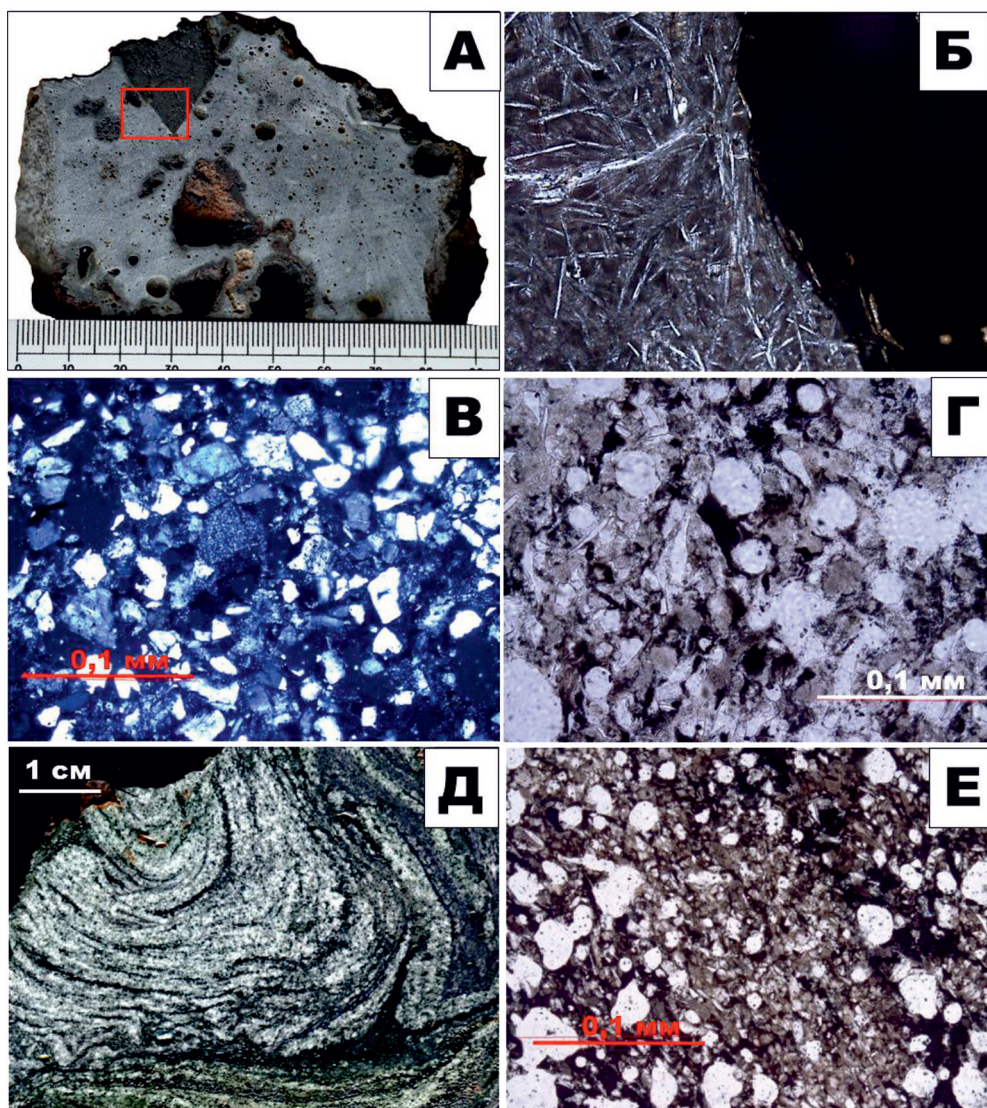


Рис. 3. Разновидности вулканических пород: А – Вариолитовый андезибазальт, обр. 1030/4; Б – То же, в контакте с обломком графитизированного угля, шлиф, ув. 100, николи ×; В – Дацит жерловой фации, шлиф 1042/1, николи ×; Г – Дацит лавовой фации, шлиф 1044/3, николи параллельны; Д – Волнистая лава правого борта Кангаласской террасы, обр. 1033/5: светлое – лава с кристаллитами, темное – обсидиан; Е – полосчатая лава дацитов, шлиф 1044/2, николи ×

Дациты и риодациты наблюдаются в составе экструзии участка Мологовская падь и в коренных обнажениях в стенках карьеров участка Намцырский тракт. В первой преобладают дациты жерловой фации, в которых стекловатая – до фельзитовой основная масса переполнена кристаллами и обломками кристаллов (преобладают) полисинтетически сдвойникового олигоклаз-андезина, пелитизированного санидина и кварца (рис. 3, В).

Дациты лавовой фации пузыристые до пенистых, с прихотливой формы выделени-

ями полевых шпатов и кварца в стекловатом до микрофельзитового матриксе, в котором развиты микрокристаллиты полевых шпатов и светлоокрашенного амфибола.

Полосчатые и волнистые лавы характеризуются чередованием светлых и темных полос мощностью 1–15 мм. Светлые полосы мелкопористые, с преобладанием кристаллической фазы (полевые шпаты, кварц) над стекловатым матриксом, раскристаллизованным в микрофельзитовый агрегат. Темные полосы в одних случаях представлены обсидианом (рис. 3, Г), в других – пу-

зыристым до пенистого риодацитом с более крупными, чем в светлых полосах, размерами пустот и преобладанием стекловатого гиалопилитового матрикса над кристаллической фазой (рис. 3, Д и Е). В первых присутствуют выклинивающиеся полоски и линзовидные обособления обсидиана. Образование полосчатых и волнистых лав характерно для лавовых потоков на склонах вулкана.

В пустотах андезитов были обнаружены скопления кристобалита (рис. 4). Образование кристобалита характерно для быстро остывших эффузивных пород, обычно тяготеет к верхним частям базаль-

товых, андезитовых и риолитовых лавовых сооружений и может занимать более 10 % объема породы.

Кристобалит известен в эффузивах Сан-Кристобала (Мексика), Майна в Рейнланде (Германия), Йеллоустонском парке (США) и др. Присутствие минерала указывает на то, что состав и микроструктура лавовых куполов эволюционировали после извержения под воздействием газовой фазы [4–6].

По химическому составу среди изученных вулканических образований преобладают андезиты и дациты среднекалиевой, с отклонениями к высококалиевой известково-щелочной серии [7] (таблица, рис. 5).

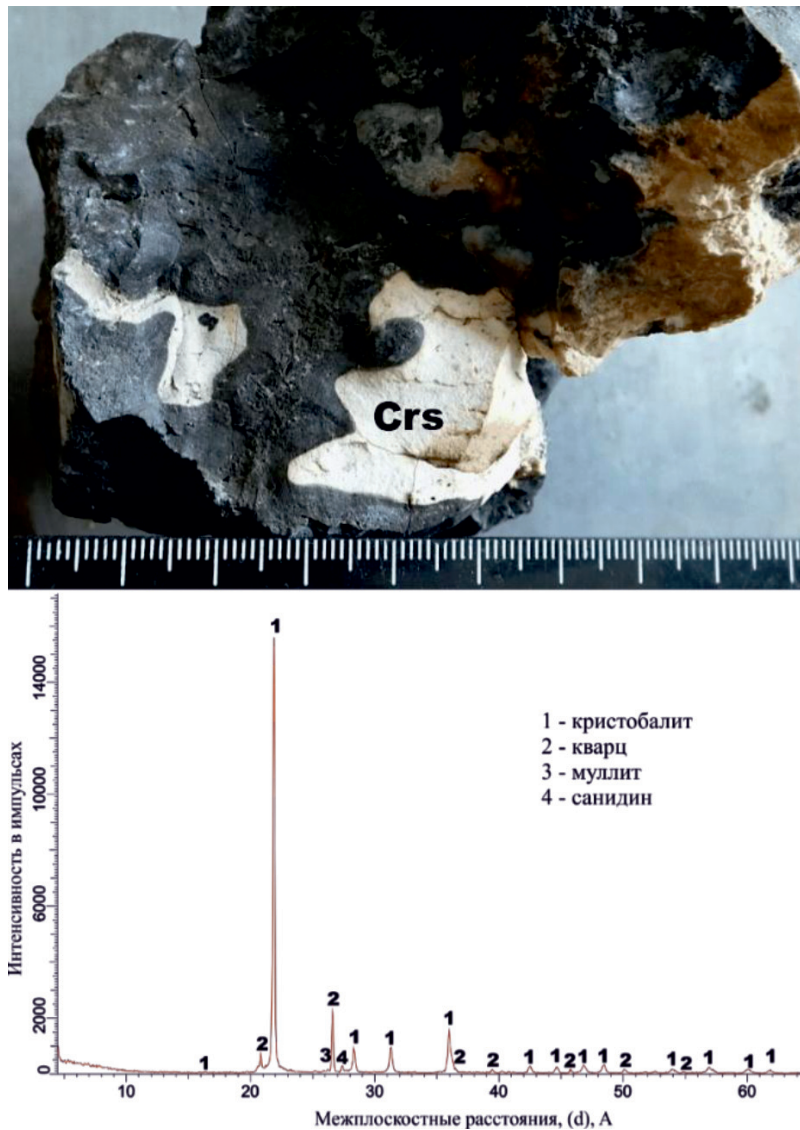


Рис. 4. Кристобалит (светлое) заполняет пустоты в лаве и рентгенограмма светлой фазы образца (выполнена в ИГАБМ СО РАН на дифрактометре D2 PHASER фирмы Bruker, Германия; аналитик Т.И. Васильева)

Представительные химические анализы (в %) вулканических пород
Кангаласской террасы и расчетные P – T параметры

Обр.	1033/3	1037/2	1042/2	1031/1	1031/2	1033/5	1044/2А	1044/4	1044/5	1030/4А	1030/8
SiO ₂	70,29	73,27	71,31	69,02	63,38	66,34	67,25	63,9	64,88	56,02	56,38
TiO ₂	0,9	0,12	0,15	0,16	0,14	1,03	0,84	0,92	0,7	0,69	0,16
Al ₂ O ₃	15,72	15,35	15,74	16,18	15,72	17,81	17	19,05	16,58	13,45	12,98
Fe ₂ O ₃	1,97	0,12	1,74	0,31	9,68	4,54	1,23	0,71	4,14	1,57	0,65
FeO	0,57	1,53	0,83	3,38	0,86	0,42	2,71	5,51	3,73	7,2	4,93
MnO	0,06	0,08	0,02	0,07	0,3	0,1	0,13	0,13	0,15	0,35	0,3
MgO	0,78	0,75	0,95	1,15	1,1	1,41	1,6	1,84	1,34	2,03	2,62
CaO	2,07	1,17	1,34	1,43	1,25	1,86	1,53	1,36	1,47	12,12	16,32
Na ₂ O	3,06	3,19	3,36	3,2	2,77	2,52	3,06	2,3	2,94	1,9	2,16
K ₂ O	2,88	3,56	3,72	3,44	3,24	2,94	3,41	3,61	3,44	2,05	2,05
H ₂ O	0,78	0,04	0,12	0,18	0,12	0,42	0,12	0	0,1	0,48	0,14
H ₂ O ⁺	1,1	0,47	0,04	0,62	0,74	0	0,66	0,23	0	0,39	0,46
P ₂ O ₅	0,35	0,12	0,13	0,28	0,21	0,42	0,28	0,22	0,24	0,14	0,07
CO ₂	0,44	0,23	0,26	0,09	0,13	0,22	0,31	0,38	0,23	0,27	0,2
S	0,12	0,01	0,02	0	0,04	0,03	0,04	0,1	0,06	0,35	0,3
Сумма	100,31	99,97	99,61	99,33	99,56	99,64	100,05	100,26	99,9	98,53	99,72
P _{квар}	7,9	6,7	7,9	9,2	10,7	11,6	10,7	14,2	11,2	10,5	10
T°C	937	798	835	841	1014	938	931	1005	998	1056	877

Примечание. 1033/3, 1037/2, 1042/2 – туфы; 1031/1, 1031/2, 1035/5 – лавобрекчии; 1044/2А – лава; 1044/4 – туфолава с остатками флоры; 1044/5 – пемза; 1030/4А и 1030/8 – вариолитовые пузырьчатые лавы. Химические анализы выполнены в лаборатории физико-химических методов анализа ИГАБМ СО РАН, аналитик Л.Т. Галенчикова. Расчет давления генерации расплава P_{квар} – по Беллеву [8]; Температура расплава T°C – на основании модели Gerdes [9] и S. Jung, Pfander [10].

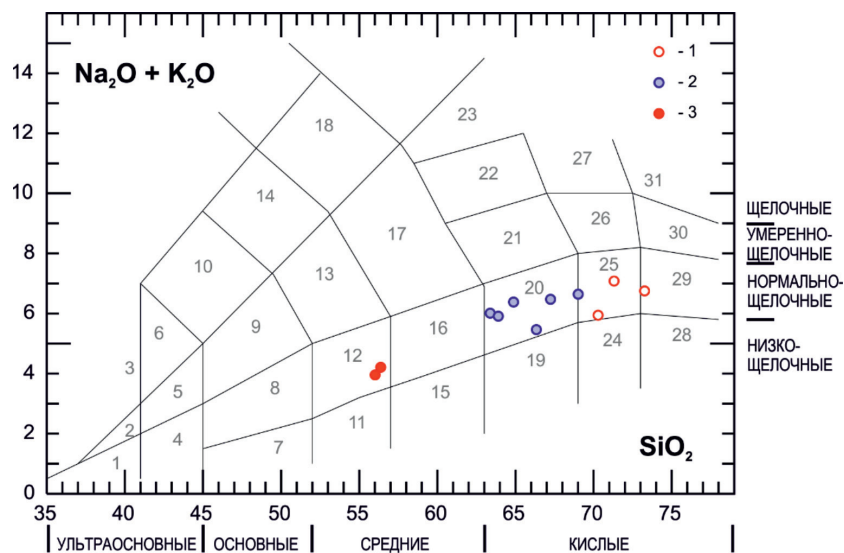


Рис. 5. Классификационная TAS-диаграмма сумма щелочей – кремнезем для классификации вулканических пород [11, 12]: 1 – туфы, 2 – лавы, пемзы, лавобрекчии, 3 – вариолиты. Поля: 1 – пикриты, 2 – ультращелочные пикриты, 3 – щелочные пикриты, 4 – ультраосновные пикробазальты, 5 – ультращелочные пикробазальты, 6 – щелочные пикробазальты, 7 – основные пикробазальты, 8 – базальты, 9 – трахибазальты, 10 – щелочные базальты, 11–12 – андезитобазальты, 13 – трахиандезитобазальты, 14 – фонотефриты, 15–16 – андезиты, 17 – трахиандезиты, 18 – тефрифонолиты, 19 – низкощелочные дациты, 20 – дациты, 21 – трахиодациты, 22 – трахиты, 23 – щелочные трахиты, 24 – низкощелочные риодациты, 25 – риодациты, 26 – трахириодациты, 27 – пантеллериты, 28 – низкощелочные риолиты, 29 – риолиты, 30 – трахириолиты, 31 – комендиты

Расчеты по химическому составу пород по методикам [8–10] определяют давление при генерации андезитового расплава в 10–11,6 кбар, дацитового и риодацитового – 6,7–9,2 кбар при максимальной температуре расплавов соответственно 1056 °С и 938 °С (таблица).

Практические рекомендации

Рассмотренные в данной работе породы Кангаласской террасы ранее детально не изучались, а красные туфы считались «горельниками», образовавшимися в результате сгорания углей и плавления вмещающих пород. Наши полевые наблюдения показали, что в местах развития описанных пород угольные пласты находятся в хорошей сохранности, более того, был зафиксирован факт брекчирования угольного пласта лавой, при этом уголь не сгорел (рис. 3, А). Петрографическое изучение пород показало, что на Кангаласской террасе развиты вулканогенные образования, аналоги которых были описаны нами ранее на Тюгенинской площади в 250 км к северо-западу [1–3]. На основании дешифрирования космических снимков мы полагаем, что подобные образования имеют широкий ареал распространения. Тем не менее споры о возможности проявления кремнекислого магматизма на территории Большого Якутска, да и Сибирской платформы в целом, не утихают и в настоящее время. Поэтому, решение этого вопроса принципиально для понимания истории геологического развития региона. Кроме того, известно, что с вулканогенными образованиями часто ассоциируют эпитермальные проявления различных металлов. По имеющимся предварительным данным, мы предполагаем благороднометалльную специализацию вулканических пород Кангаласской террасы, что требует проведения дальнейших детальных исследований.

Заключение

Решена одна из дискуссионных проблем о природе красных туфов Кангаласской террасы левого берега р. Лена, которые ранее не изучались, но считались горельниками – продуктами плавления пород в результате сгорания углей. Установлено, что в пределах стратиграфических разрезов вулканические породы ассоциируют с пластами углей, иногда непосредственно контактируют с ними, при этом следов сгорания углей не выявлено. В красных пепловых туфах обнаружены остатки захороненной флоры

верхнеюрских папоротников, что косвенно указывает на возраст вулканического процесса. В целом эволюция магматизма района имеет гомодромную направленность: андезиты (покровы) → дациты, риодациты и риолиты (покровы и экструзии). В последующем планируется осветить специфику химических и геохимических составов вулканических образований и их рудоносность.

Авторы благодарны своим постоянным оппонентам М.Д. Томишину и А.В. Округину за содержательные дискуссии о невозможности проявления вулканизма на Лено-Виллоиском водоразделе, которые инициировали данное исследование.

Статья подготовлена по плану НИР ИГАБМ СО РАН, проект № 0381-2016-0004.

Список литературы

1. Костин А.В. Новый геологический объект вулканического происхождения на Лено-Виллоиском водоразделе (восток Сибирской Платформы) // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 2. – С. 100–105.
2. Костин А.В., Гриненко В.С., Трунилина В.А. и др. Тюгенинское вулканическое поле – новый геологический объект востока Сибирской платформы // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: материалы Всероссийской научно-практической конференции (6–8 апреля 2016 г). – Якутск: Издательский дом СВФУ, 2016. – С. 380–383.
3. Костин А.В., Гриненко В.С., Олейников О.Б. и др. Первые данные о проявлении верхнемелового вулканизма зоны перехода «Сибирская платформа – Верхояно-Колымская складчатая область» // Наука и образование. – 2015. – № 1(77). – С. 30–36.
4. Horwell C.J. et al. The nature and formation of cristobalite at the Soufrière Hills volcano, Montserrat: implications for the petrology and stability of silicic lava domes // Bulletin of Volcanology. – 2013. – Т. 75. – № 3. – С. 696.
5. Reich M. et al. Formation of cristobalite nanofibers during explosive volcanic eruptions // Geology. – 2009. – Т. 37. – № 5. – С. 435–438.
6. Schipper C. I. et al. Cristobalite in the 2011–2012 Cordón Caulle eruption (Chile) // Bulletin of Volcanology. – 2015. – Т. 77. – № 5. – С. 34.
7. Whiteford D.G., Nicholls I.A., Taylor S.R. Spatial variations in the geochemistry of quaternary lavas across the Sunda arc in Java and Bali / Contr. Mineral. And Petrol., 1979, v. 70. P. 341–356.
8. Беляев Г.М., Рудник В.А. Формационно-генетические типы гранитоидов. – Л.: Недра, 1978. – 168 с.
9. Gerdes A., Worner G., Henk A. Post-collisional granite generation and HT-LP metamorphism by radiogenic heating: the Variscan South Bohemian Batholith // J. Geol. Soc. London. 2000, v. 157. P. 577–587.
10. Jung S., Pfander J.A. Source composition and melting temperatures of orogenic granitoids – constrains from CaO/Na₂O, Al₂O₃/TiO₂ and accessory mineral saturation thermometry // European Journal of Mineralogy, 2007, № 1. P. 5–40.
11. Шарпенко Л.Н., Костин А.Е., Кухаренко Е.А. TAS-диаграмма сумма щелочей-кремнезема для химической классификации и диагностики плутонических пород // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 56. – С. 40–50.
12. Le Bas M. J. et al. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram // Journal of petrology. 1986. V. 27. № 3. P. 745–750.

References

1. Kostin A.V. A new geological feature of volcanic origin in the Lena-Vilyui watershed (east of Siberian Platform) [Novyi geologicheskii obekt vulkanicheskogo proiskhozhdeniia na Lenno-Viliuiskom vodorazdele (vostok Sibirskoi Platformy)]. *Uspekhi sovremenogo estestvoznaniia – Progress of modern natural Sciences*, 2017, no. 2, pp. 100–105.
2. Kostin A.V., Grinenko V.S., Trunilina V.A. i dr. Tiugenskoe vulkanicheskoe pole – novyi geologicheskii obekt vostoka Sibirskoi platformy [Tiugenskiy volcanic field – new geological feature of the East Siberian platform]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii (g. Yakutsk, 6–8 apreliia 2016 g.)* [Proceedings of Geology and mineral resources of the North-East of Russia (Yakutsk, April 6–8, 2016)], Yakutsk, Izdatel'skii dom SVFU, 2016, pp. 380–383.
3. Kostin A.V., Grinenko V.S., Oleinikov O.B. i dr. The first data about the manifestation of the Upper Cretaceous volcanism of transition zone Siberian platform Verkhoyansk Kolyma folded area [Pervye dannye o proiavlenii verkhemelovogo vulkanizma zony perekhoda Sibirskaia platforma Verkhoiانو Kolymaskaia skladchataia oblast']. *Nauka i obrazovanie – Science and education*, 2015, no. 1, pp. 30–36.
4. Horwell C.J. et al. The nature and formation of cristobalite at the Soufriere Hills volcano, Montserrat: implications for the petrology and stability of silicic lava domes. *Bulletin of Volcanology*, 2013, vol. 75, no. 3, pp. 696.
5. Reich M. et al. Formation of cristobalite nanofibers during explosive volcanic eruptions. *Geology*, 2009, vol. 37, no. 5, pp. 435–438.
6. Schipper C.I. et al. Cristobalite in the 2011-2012 Cordon Caulle eruption (Chile). *Bulletin of Volcanology*, 2015, vol. 77, no. 5, pp. 34.
7. Whiteford D.G., Nicholls I.A., Taylor S.R. Spatial variations in the geochemistry of quaternary lavas across the Sunda arc in Java and Bali. *Contribs. Mineral. And Petrol*, 1979, no. 70, pp. 341–356.
8. Beliaev G.M., Rudnik V.A. Formatsionno-geneticheskie tipy granitoidov [Formation-genetic types of granitoids]. *Leninograd, Nedra*, 1978, 168.
9. Gerdes A., Worner G., Henk A. Post-collisional granite generation and HT-LP metamorphism by radiogenic heating: the Variscan South Bohemian Batholith // *J. Geol. Soc. London*, 2000, v. 157. P. 577–587.
10. Jung S., Pfander J.A. Source composition and melting temperatures of orogenic granitoids – constrains from CaO/Na₂O, Al₂O₃/TiO₂ and accessory mineral saturation thermometry // *European Journal of Mineralogy*, 2007, no. 1. pp. 5–40.
11. Sharpenok L.N., Kostin A.E., Kukharenko E.A. TAS-diagram of total alkali-silica chemical classification and diagnosis of plutonic rocks [TAS-diagramma summa shchelochei-kremnezem dlia khimicheskoi klassifikatsii i diagnostiki plutonicheskikh porod]. *Regional'naia geologiya i metallogeniia – Regional Geology and metallogeny*, 2013, no. 56, pp. 40–50.
12. Le Bas M. J. et al. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of petrology*, 1986, vol. 27, no. 3, pp. 745–750.