

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ,
МЕТОДИКА ИХ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

USEFUL MINERALS,
METHODS OF THEIR PROSPECTING AND EXPLORATION

УДК 551.213+552.323.6

**ФОРМИРОВАНИЕ КРАТЕРА И ЭРОЗИОННЫЙ СРЕЗ КИМБЕРЛИТОВОЙ
ТРУБКИ АРХАНГЕЛЬСКАЯ (РОССИЯ)***

А.В. БОЛОНИН, П.А. ИГНАТОВ, А.В. ПЕТРОВ

*ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., Москва 117997, Россия
e-mail: bolonin.a@inbox.ru*

В Зимнебережном алмазоносном районе позднедевонские кимберлитовые трубки Архангельская, Пионерская, имени Гриба, как и ряд других трубок, обладают полными разрезами кратерных туфогенно-терригенных отложений, мощность которых составляет 120–127 м. Для трубки Архангельская характерны остатки эрозионного раструба, который был денудирован на этапе региональной эрозии — до среднего карбона. На основе систематической документации стенок опытно-промышленного карьера трубки Архангельская авторами произведён расчёт первоначальной высоты раструба (92 м). Он базируется на равенстве объёма вмещающих пород, эродированных в пределах кольцевого раструба, и объёма терригенного материала, содержащегося в кратерных отложениях. Для трубки Архангельская реконструированы последовательность и кинематика формирования кратерных отложений. Выделено четыре фазы развития маар-кратера, наступившие после инъекции кимберлитовой магмы и пирокластики в жерло вулкана до выхода на палеоповерхность: 1) накопление пачки песчаников мощностью 27 м за счёт эрозии вендского цоколя в кольцевом раструбе высотой 50 м с проседанием подошвы кратера амплитудой 77 м; 2) накопление пачки туфотерригенных отложений мощностью 67 м; пачка формировалась в условиях повторной вулканической активности и тефрового кольцевого вала с суммарной амплитудой проседания 169 м; 3) терригенная седиментация с общей амплитудой проседания 219 м; 4) региональная эрозия в период от позднего девона до раннего карбона и перекрытие трубки отложениями среднего карбона и четвертичной системы. Глубина региональной эрозии практически совпадает с расчётной высотой эродированного раструба, равной 92 м. Для трубок Пионерская и имени Гриба расчётная высота эрозионного раструба составляет соответственно 92 и 103 м. Для накопления кратерных отложений требовалось проседание их подошвы амплитудой 212–223 м. В фазы резкого проседания обрушение стенок жерла приводит к образованию крупноглыбовых отложений и «рифов». После завершения гравитационной эрозии маар-кратер переходит в режим плоскостного размыва с накоплением тонкообломочных и хемогенных озерных осадков. Причинами проседания могли быть отток дегазированной магмы вниз по жерлу, выброс из жерла пирокластики и уплотнение туфоосадочного материала в кратере.

Ключевые слова: кимберлиты; трубка Архангельская; кратерные отложения; эрозионный раструб.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-4-37-43

CRATER FORMATION AND EROSIONAL TRUNCATION OF ARKHANGELSKAYA KIMBERLITE PIPE (RUSSIA)

A.V. BOLONIN, P.A. IGNATOV, A.V. PETROV

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRI)
23, Miklouho-Maklay's street, Moscow 117997, Russia
e-mail: bolonin.a@inbox.ru*

The Late Devonian kimberlite pipes Arkhangelskaya, Pionerskaya, named after Grib, as well as a number of other pipes, have full sections of crater tufogenic and terrigenous deposits in the Zimniberezhny diamondiferous region, the thickness of which is 120–127 m. The remains of the erosion bell, which was denuded at the stage of regional erosion in the Middle Carboniferous, are characteristic of the Arkhangelskaya pipe. Based on the systematic documentation of the walls of the pilot industrial pit of the Arkhangelskaya pipe, the authors have calculated the initial height of the bell (92 m). The calculation is based on the equality of the volume of host rocks eroded within the annular bell and the volume of terrigenous material contained in the crater deposits. The sequence and kinematics of the formation of crater deposits were reconstructed for the Arkhangelskaya pipe. Four phases of the development of the maar (explosion) crater were identified, which occurred after the injection of kimberlite magma and pyroclastics into the volcano's vent before reaching the paleosurface: 1 — accumulation of sandstones, 27 m thick, due to erosion of the Vendian socle in a 50-meter-long annular bell with subsidence of the base of the crater with an amplitude of 77 m; 2 — the accumulation of tufogenic and terrigenous deposits with a thickness of 67 m, it was formed under conditions of repeated volcanic activity and a tephra annular shaft with a total subsidence amplitude of 169 m; 3 — terrigenous sedimentation with a total subsidence amplitude of 219 m; 4 — regional erosion in the period from the Late Devonian to the Early Carboniferous and the blocking of the pipe by deposits of Middle Carboniferous and Quaternary system. The depth of regional erosion practically coincides with the estimated height of the eroded bell, equal to 92 m. For the Pionerskaya and Grib pipes, the estimated heights of the erosion bell are 92 and 103 m, respectively. The subsidence of their bases with amplitude of 212–223 m was required to accumulate crater deposits. During the phases of sharp subsidence the collapse of the walls of the crater leads to the formation of coarse deposits and «reefs». After the completion of gravitational erosion, the maar crater switches to the planar erosion mode with the accumulation of fine clastic and chemogenic lake sediments. The causes of subsidence could be the outflow of degassed magma down the crater, ejection of pyroclastic, and compaction of tuff-sedimentary material in the crater.

Key words: kimberlite; Arkhangelskaya pipe; crater deposits; erosion funnel.

В 2004–2014 гг. авторы изучали геологическое строение Зимнебережного алмазодносного района и систематически документировали стенки опытно-промышленного карьера трубки Архангельская. Сделанные наблюдения позволили составить представление о формировании и последующей эрозии кратерной части данной трубки. В статье приведена количественная оценка объёмов и амплитуд кратерного проседания, осадконакопления и эрозионных процессов по трубке Архангельская, выполненная на основе оригинальных геометрических построений. Такие реконструкции могут быть полезными для понимания происхождения ближних и дальних алмазных россыпей, в поисках и разведке коренных месторождений алмазов [6, 7, 9, 10].

Кимберлиты трубки Архангельская, как и все другие кимберлитовые тела Зимнебережного района, прорывают терригенные породы падунской свиты верхнего венда—нижнего кембрия и перекрыты горизонтально залегающей терригенно-карбонатной толщей карбона—перми и рыхлыми четвертичными отложениями. Радиологические датировки в интервале 375–380 (±2) млн. лет указывают на позднедевонский возраст кимберлитов [3–5]. Последующая региональная эрозия трубчатых завершилась до их захоронения песками и доломитами урзугской свиты среднего карбона.

Важной задачей является определение уровня древнего эрозионного среза кимберлитовых тру-

бок, который можно оценить по результатам детальных наблюдений в карьере по трубке Архангельская.

Строение кратера трубки Архангельская иллюстрирует схематический разрез, построенный по данным детальной разведки и наблюдениям в карьере (рис. 1). Вмещающая толща венда представлена мелкообломочными красноцветными породами золотицкой подсвиты. В её разрезе выделяются пять ритмопачек (z_1 — z_5). Особенностью толщи является контрастное переслаивание пластов прочных пород (песчаников и алевролитов с карбонатным цементом) и слабо сцементированных кварцевых песков и пластичных глин. Вмещающие породы послужили источником терригенного материала в кратерных отложениях. Прочные и пластичные породы содержатся в этих отложениях в виде крупных обломков, а рыхлые пески стали источником зёрен обломочного кварца. Мнение о ксеногенном терригенном источнике кварца в кратерных отложениях выражено разными авторами [5, 8].

Кратерные отложения залегают на автолитовой кимберлитовой брекчии. В разрезе кратера выделяются три пачки. Нижняя пачка средней мощностью 27 м представлена кварцевыми песчаниками с примесью кимберлитового материала в объёме не более 1%.

Средняя пачка мощностью 67 м сложена туфами, туффитами и туфопесчаниками. Доля туфово-

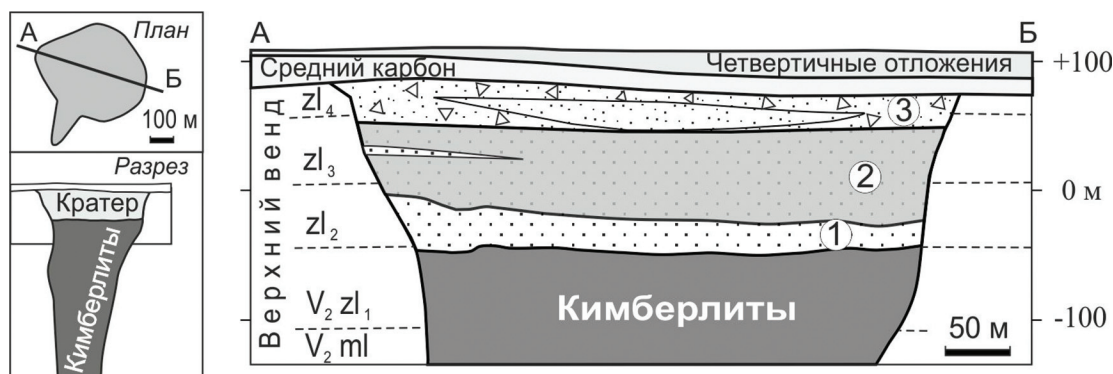


Рис. 1. Разрез кимберлитовой трубки Архангельская (сверху вниз): *перекрывающие отложения*: четвертичные — пески, гравелиты, суглинки; средний карбон — пески с прослоями доломитов; *кратерные отложения*: верхняя пачка (3) — туфопесчаники с обломками вмещающих пород венда; средняя пачка (2) — туффы и туфы; нижняя пачка (1) — песчаники; *кимберлиты* (автолитовая брекчия); *вмещающие породы*: верхний венд, золотицкая толща (V_2zl — четыре пачки) — чередование песчаников, алевролитов и аргиллитов; мельская толща (V_2ml) — аргиллиты с прослоями песчаников

го материала в этой пачке составляет около 50 %, остальное — это терригенный кварц и мелкие обломки вендских пород.

Верхняя пачка средней мощностью 33 м сложена туфопесчаниками, насыщенными обломками вендских пород вплоть до глыб размером один и более метров (рис. 2). Характерно, что в глыбах глинистых пород встречаются вязкопластичные оползневые деформации, указывающие на лавинную седиментацию в связи с обрушением крупных фрагментов вмещающих пород. Присутствие горизонта, насыщенного крупными обломками и глыбами вмещающих кратер пород, указывает на катастрофичность обрушения, вероятно, обусловленного сильными землетрясениями и взрывами, сопровождавшими формирование кратера. Туфовый материал в верхней пачке занимает около 5% объема. В самом верху пачки наблюдались линзы алевроаргиллитов озерной фации, которые указывают на завершенность грубообломочного разреза кратера и его сохранность от последующей эрозии [1].

Стенки кратера имеют крутое падение под углами 65—90°. На западе карьера в самом верху трубки задокументирован резкий перегиб вертикального контакта кратера в пологий с углом около 33° (рис. 3). Очевидно, что пологий контакт является сохранившимся фрагментом эрозионного раструба кимберлитового кратера, а угол 33° равен углу естественного гравитационного откоса крупного песка.

В основу дальнейших реконструкций и расчётов положено допущение о том, что объём эродированных в пределах раструба вмещающих пород равен объёму терригенного материала, содержащегося в кратере.

Профиль раструба до и после эрозии реконструирован на разрезе (рис. 4-1). Его очерчивают линии: палеоповерхности — EC , продолжения жерла — AC и эрозии — AE . Линия AE с начальным углом наклона 33° выполаживается вверху за счёт смены режима гравитационного обрушения вмещающих пород плоскостным смывом. Эродиро-

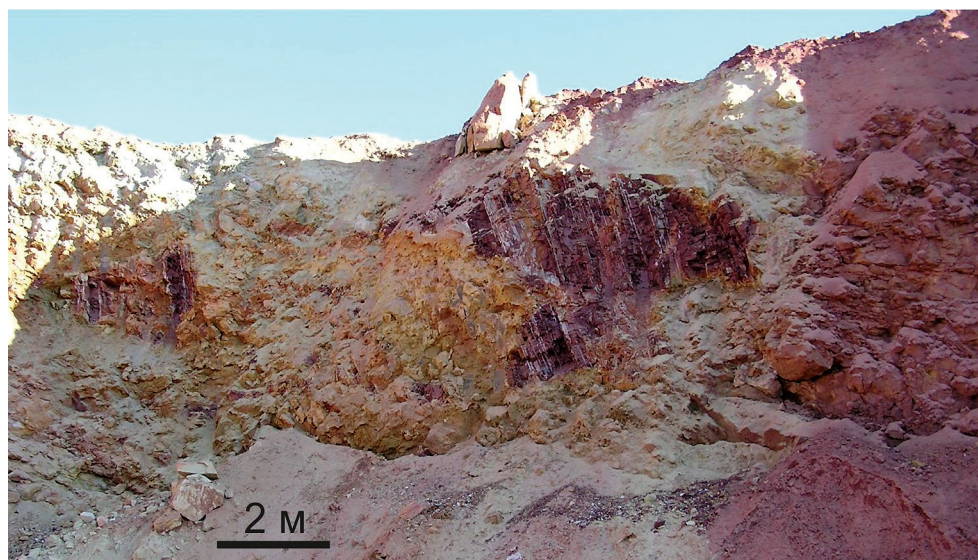


Рис. 2. Крупные глыбы слоистых вендских пород в кратерных отложениях трубки Архангельская (фото северного уступа с абсолютной отметкой основания +76 м, август 2006 г.)

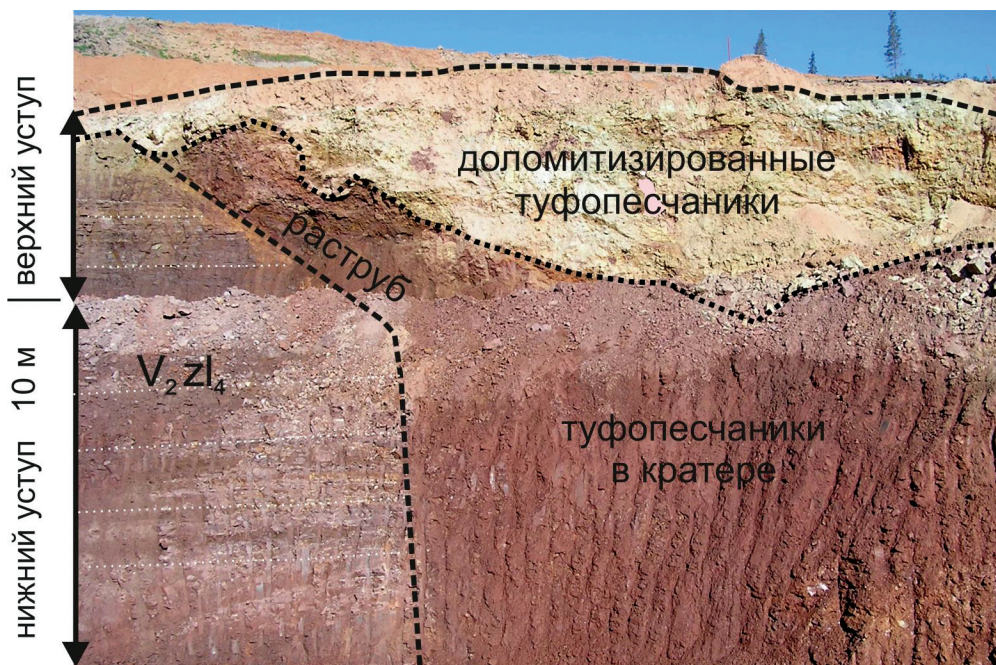


Рис. 3. Западная стенка карьера трубки Архангельская (фото август 2006 г.): в центре — резкий перегиб вертикального контакта кратера с переходом в пологий эрозионный раструб; справа — кратерные туфопесчаники, доломитизированные вверх; слева — вмещающие песчаники и алевролиты венда (четвертая пачка золотицкой толщи V_2Zl_4).

ванную кромку ACE аппроксимирует равный по площади прямоугольный треугольник ABD , в котором AB — высота h , BD — ширина, равная $h/\text{tg}33^\circ = 1,54h$. На современной поверхности эмпирическая площадь трубки составляет $S = 150000 \text{ м}^2$ (рис. 4–2). Эту площадь аппроксимирует круг с радиусом $r = \sqrt{S/\pi} = 219 \text{ м}$, где число $\pi = 3,14$.

Итак, эродированная кромка вендского цоколя объёмно представлена кольцевой в плане формой треугольного сечения высотой h и внутренним радиусом $r = 219 \text{ м}$. Объём такого кольца вычисляется вычитанием из объёма усеченного конуса $V_1 = 1/3\pi h(R^2 + R \cdot r + r^2)$ объёма внутреннего цилиндра $V_2 = \pi r^2 h$, где h — общая высота конуса и цилиндра, r — радиус нижнего основания конуса и цилиндра, $R = r + 1,54h$ — радиус верхнего основания конуса. Алгебраическим преобразованием

приходим к формуле объёма кольца: $V = V_1 - V_2 = 4,84rh^2 + 2,48h^3$. Подставляя $r = 219 \text{ м}$, получаем: $V = 1060h^2 + 2,48h^3$.

Объём эродированного терригенного материала может быть рассчитан по параметрам кратерных пачек, приведенным в таблице. По мощности пачек и радиусам, аппроксимирующим их подошву и кровлю, рассчитан объём каждой из трёх пачек по формуле усеченного конуса. Через процентную долю кварца и обломков венда в пачках определяется объём терригенного материала. Суммарно по трём пачкам он составляет 10,8 млн. м^3 . Такой объём мог быть обеспечен эрозией кольца высотой 92 м, что следует из уравнения: $1060h^2 + 2,48h^3 = 1060 \cdot 922 + 2,48 \cdot 923 = 10,9 \text{ млн. м}^3$.

Опираясь на параметры трёх кратерных пачек и функциональную зависимость в балансе объёмов,

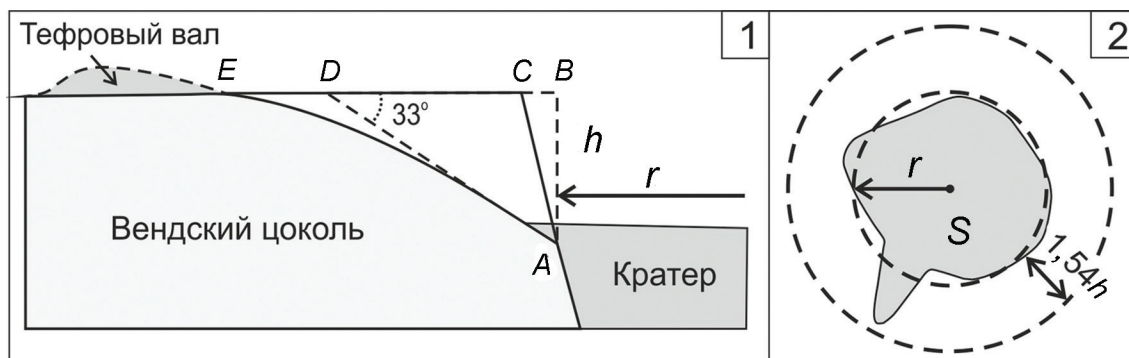


Рис. 4. Реконструкция эрозионного раструба трубки Архангельская: на разрезе (1): AC — линия жерла; AE — линия эрозии; угол $ADB = 33^\circ$; ACE — эродированная кромка вмещающего цоколя; ABD — аппроксимирующий её треугольник, в котором высота $AB = h$, ширина $BD = h/\text{tg}33^\circ = 1,54h$; на плане (2): $S = 150000 \text{ м}^2$ — эмпирическая площадь поверхности трубки (серое); $r = 219 \text{ м}$ — радиус аппроксимирующего круга; внешний край раструба — круг радиусом $R = r + 1,54h$

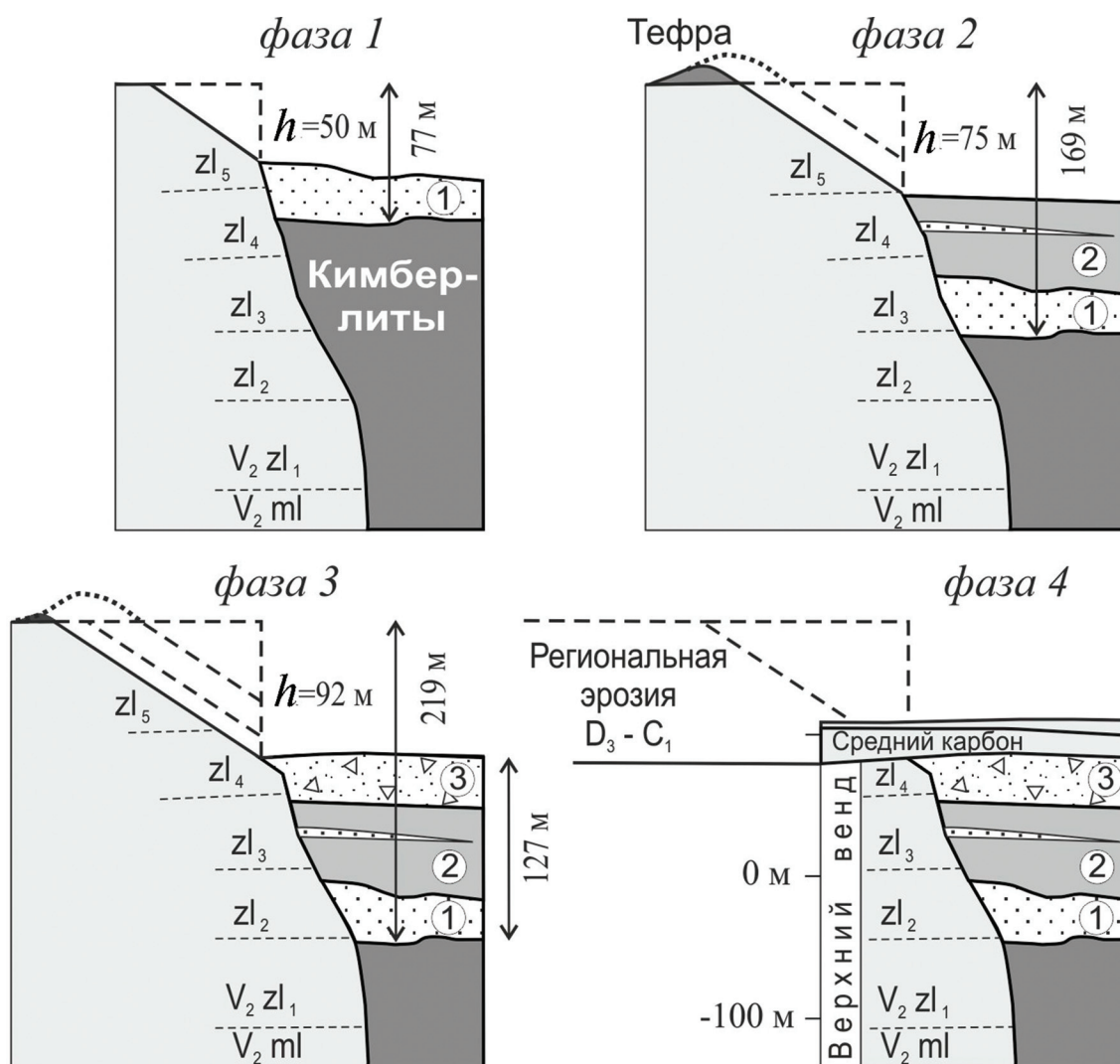


Рис. 5. Последовательность формирования кратерных отложений трубки Архангельская (пояснения в тексте)

можно выполнить реконструкцию отдельных фаз формирования маар-кратера трубки Архангельская. Реконструкция показана на рис. 5. В фазу инъекции кимберлитовая магма и пирокластика заполнили жерло вулкана до выхода на дневную палеоповерхность. Вулканические покровы заметной мощности в зоне раструба не формировались. Этим можно объяснить ничтожную долю кимберлитового материала (1%), участвовавшего в накоплении нижней песчанниковой пачки.

Фаза 1 соответствует моменту после накопления пачки 1. Расчёт показывает (таблица, строка 4), что образование пачки песчанников мощностью 27 м и объёмом 2,57 млн. м³ обеспечивается эрозией вендского цоколя в кольцевом раструбе высотой 50 м с проседанием подшвы кратера амплитудой 27+50 = 77 м.

Фаза 2 (после накопления пачки 2). Туфотерригенная средняя пачка мощностью 67 м формировалась в условиях повторной вулканической активности. В начале фазы вокруг кратера образовался тефровый кольцевой вал. Эрозия тефры и подстилающего вендского цоколя обеспечила образование

смешанных туфотерригенных отложений. Объём терригенного материала по сумме пачек 1 и 2 составляет 2,57 + 3,90 = 6,47 млн. м³. Для его накопления расчётная высота эрозионного кольца составляет 75 м (таблица, строка 3). Суммарная амплитуда проседания (27 + 67) + 75 = 169 м.

Фаза 3 соответствовала времени после накопления пачки 3 мощностью 33 м. Объём терригенного материала по сумме трёх пачек равен 2,57 + 3,90 + 4,32 = 10,8 млн. м³. Для его накопления расчётная высота эрозионного кольца составляет 92 м (таблица, строка 1). Суммарная амплитуда проседания достигает (27 + 67 + 33) + 92 = 219 м.

Фаза 4 отражает современную геологическую ситуацию. К ней привели региональная эрозия в период от позднего девона до раннего карбона и перекрытие трубки отложениями среднего карбона и четвертичной системы. Глубина региональной эрозии практически совпадает с расчётной высотой эродированного раструба, равной 92 м.

Особенностью кратерных отложений трубки Архангельская является присутствие в них обломоч-

Параметры кратерных отложений кимберлитовых трубок Зимнебережного района

Трубки			Площадь поверхности	Радиус поверхности, r	Радиус подошвы	Средняя мощность, m	Объём кратера	Кварц и обломки пород венда в кратере		Формула объёма эрозионного кольца, $4,84rh^2+2,48h^3$	Высота кольца, h	Проседание подошвы кратера, $m+h$
			тыс. м ²	м	м	м	млн. м ³	доля %	млн. м ³	м ³	м	м
1	Архангельская	всего	150	219		127	14,6		10,8	$1060h^2+2,48h^3$	92	219
2		пачка 3	150	219	200	33	4,55	95	4,32			
3		пачка 2		200	185	67	7,80	50	3,90	$968h^2+2,48h^3$	75	169
4		пачка 1		185	165	27	2,60	99	2,57	$895h^2+2,48h^3$	50	77
5	Пионерская		330	324	210	120	27,3	70	19,1	$1568h^2+2,48h^3$	103	223
6	им. Гриба		163	228	184	120	16,1	70	11,2	$1104h^2+2,48h^3$	92	212
7	Юрасская (494а)		67	146	80	45	1,86	70	1,30	$387h^2+2,48h^3$	50	
8	Суксома (772)		1800	757	580	250	353	70	247	$3664h^2+2,48h^3$	240	490

ного кварца более крупного размера (до 0,5—2 мм), чем зёрна кварца во вмещающих песчаниках золотичкой толщи (примерно до 0,2 мм) [4]. На участке трубки разрез толщи нами расчленяется на четыре тонкообломочные ритмопачки. К востоку от трубки разрез наращивается пятой пачкой, сложенной более крупнозернистыми песками. Судя по реконструкции, отложения этой пачки как раз и попадали в эрозионный раструб при заполнении кратера (рис. 5).

В Зимнебережном алмазоносном районе кратерные фации многих трубок эродированы до уровня диатрем, сложенных ксенотуфобрекциями и интрузивными кимберлитами. В ряде случаев имеются в разной степени эродированные кратеры. Признаками наиболее полного разреза кратерных отложений, помимо трубки Архангельская, обладают трубки Пионерская, имени Гриба, Юрасская (494а), Суксома (772) и 721.

Параметры кратерных отложений трубок приведены в таблице. Они измерены на планах и разрезах детальной разведки. В числе параметров: площадь поверхности трубки (кратера), аппроксимирующие радиусы поверхности и подошвы кратера, средняя мощность отложений, объём кратера, оцененный по формуле усеченного конуса. В расчётах доля терригенного кварца и обломков пород венда принята 70%, как это установлено в трубках Архангельская и имени Гриба. Применительно к каждой трубке приведена формула объёма эрозионного кольца и рассчитанная по ней его высота.

Расчётные значения высот эрозионных колец оказались близкими для разных трубок: Архангельская 92 м, Пионерская 103 м, имени Гриба 92 м. В небольшой трубке Юрасская с кратерными отложениями мощностью 45 м сохранился раструб с пологими углами наклона 20—33° и высотой около 30 м. Эта высота немного меньше расчётного значения 50 м, что указывает на незначительный эрозионный срез трубки (50—30 = 20 м). Отсутствие раструбов у трубок означает их большую эродированность.

В восточной части Зимнебережного района в кимберлитовых трубках в виде обломков и крупных оползневых блоков («рифов») встречаются пестроцветные глинисто-карбонатные породы, отсутствующие в современном коренном залегании. По находкам фауны они датируются кембрием—ордовиком [8]. Такой «риф» размером по вертикали до 170 м и шириной до 80 м вскрыт скважинами в трубке Горелая вдоль вертикального контакта кимберлитовой ксенотуфобрекцией с вмещающими красноцветными породами венда. На востоке района в крупной трубке Суксома мощность кратерных отложений достигает 250 м. Такая мощность могла быть обеспечена эрозией в раструбе-кольце расчётной высотой 240 м (таблица, строка 8). Следовательно, кембрий-ордовикские породы меньшей мощности вполне могли входить в разрез вмещающей толщи во время образования кимберлитов.

Приведённые количественные реконструкции позволяют заключить следующее.

Кимберлитовые трубки Зимнебережного района в кратерных туфогенно-осадочных отложениях содержат значительное количество материала вмещающих терригенных пород в виде обломочного кварца и литокластов. Для трубок с полным разрезом кратерных отложений предложена методика расчёта высоты кольцевого раструба, эрозия которого могла обеспечить накопление в кратере имеющегося там объёма терригенного материала. Профиль эрозионного кольца аппроксимируется прямоугольным треугольником с углом наклона 33°. Такой угол зафиксирован в карьере трубки Архангельская, как соответствующий углу естественного откоса крупного песка.

Позднедевонские трубки Архангельская, Пионерская, имени Гриба имеют кратерные отложения мощностью 120—127 м. Расчётная высота эрозионных раструбов-колец составляет 92—103 м. Раструбы трубок эродированы на этапе денудации в период до среднего карбона. Крупная трубка Суксома на востоке района выделяется кратером

мощностью около 250 м и высотой эродированного раструба не менее 240 м.

Для накопления в трубках мощных кратерных отложений требуется значительное проседание подошвы кратеров. Расчётная амплитуда проседания составляет 212—223 м, а в трубке Суксома до 490 м. В фазы резкого проседания гравитационное обрушение крутопадающих стенок жерла приводит к образованию крупноглыбовых отложений и «рифов». После завершения гравитационной эрозии маар-кратер переходит в режим плоскостного размыва с накоплением тонкообломочных и хемогенных озёрных осадков.

Причинами проседания кратерных отложений могли быть: постэруптивный отток дегазированной магмы вниз по жерлу, выброс из жерла пирок-

ластики, уплотнение туфоосадочного материала в кратере. Период формирования кратерных отложений должен быть скоротечным — до затвердевания магмы, которое блокирует дальнейшее проседание отложений в коническом жерле.

Большинство трубок Зимнебережного района в современном залегании на поверхности представлено интрузивными кимберлитами [2, 4]. Скорее всего, это обусловлено небольшой амплитудой проседания в жерлах с последующей эрозией мало-мощных кратеров.

Авторы выражают благодарность геологам филиала АК «АЛРОСА» в г. Архангельске «Алроса-Поморье» и ПАО «Севералмаз» за содействие в изучении карьера трубки Архангельская и использование других материалов.

ЛИТЕРАТУРА

- Игнатов П.А., Болонин А.В., Васильев И.Д., Фомин А.А., Ким В. Контакты кимберлитовой трубки Архангельская и деформации вмещающих и перекрывающих пород // Известия вузов. Геология и разведка. 2009. № 5. С. 28—34.
- Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. Иерархический ряд проявлений щелочно-ультраосновного магматизма Архангельской алмазоносной провинции. Их отражение в геолого-геофизических материалах. Архангельск: ОАО «Правда Севера». 2004. 283 с.
- Ларионова Ю.О., Сазонова Л.В., Лебедева Н.М., Носова А.А., Третьяченко В.В., Травин А.В., Каргин А.В., Юдин Д.С. Возраст кимберлитов Архангельской провинции: Rb-Sr, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопно-геохронологические и минералогические данные для флогопита // Петрология. 2016. Т. 24. № 6. С. 607—639.
- Ларченко В.А., Минченко Г.В., Степанов В.П., Кечик И.А. Алмазоносность кимберлитов и родственных им пород Зимнего берега // Вестник Воронеж. ун-та. Геология. 2004. № 2. С. 134—147.
- Махоткин И., Роби Д., Курсзлаукис С., Валуев Е., Пылаев Н. Возраст и модель образования трубок Ломоносовского месторождения алмазов. Архангельская область, Северо-Запад России // Тр. конференции «MINEX FORUM Северо-Запад 2007». Петрозаводск, 2007. С. 32—39.
- Подчасов В.М., Минорин В.Г., Богатых И.Я. и др. Геология, прогнозирование, методика поисков, оценки и разведки коренных месторождений алмазов. Книга 1. Коренные месторождения. Якутск: ЯФ ГУ «Издательство СО РАН», 2004. 548 с.
- Подчасов В.М., Минорин В.Г., Богатых И.Я. и др. Геология, прогнозирование, методика поисков, оценки и разведки месторождений алмазов. Книга 2. Россыпные месторождения. Якутск: ЯФ ГУ «Издательство СО РАН». 2004. 424 с.
- Толмачёва Т.Ю., Алексеев А.С., Реймерс А.Н., Ларченко В.А., Гунин А.П. Ордовикские конодонты в ксенолитах кимберлитовых трубок Юго-Восточного Беломорья // Палеострат-2008. Годичное собрание секции палеонтологии МОИП и Московского отделения палеонтологического общества. Москва, 28—29 января 2008 г. Тезисы докладов. Москва, 2008. С. 55—58.
- Scott Smith B.H. Canadian kimberlites: Geological characteristics relevant to emplacement // Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2008. V. № 174. P. 9—19.
- Wilson L., Head J. W. Kimberlite ascent and eruption // Nature, 2007. V. № 447. P. 53—57.

REFERENCES

- Ignatov P.A., Bolonin A.V., Vasilyev I.D., Fomin A.A., Kim V. Kontakty kimmerlitovoi trubki Arkhangel'skaya i deformatsii vmeshchayushchikh i perekryvayushchikh porod [Contacts of Arkhangel'skaya kimberlite pipe and deformations of enclosing and overlying rocks]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka* — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 2009, no. 5, pp. 28—34. (In Russian)
- Kutinov Y., Chistova Z., Rank row of the alkali-ultrabasic magmatic Arkhangel'sk diamondiferous province. Reflect in the geological-geophysical data, Arkhangel'sk. *OAO «Pravda Severa»*. 2004, pp. 283. (In Russian)
- Larionova Y.O., Sazonova L.V., Lebedeva N.M., Nosova A.A., Kargin A.V., Tret'yachenko V.V., Travin A.V., Yudin D.S. Kimberlite age in the Arkhangel'sk Province, Russia: Isotopic geochronologic Rb—Sr and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and mineralogical data on phlogopite. *Petrology*, 2016, vol. 24, no. 6, pp. 562—593. (In Russian)
- Larchenko V., Minchenko G., Stepanov V., Kechik Y. Diamondiferous kimberlite and conglomerate rock in Zimnt bereg. *Vestnik Voronezh. un. Geology*, 2004, no 2, pp. 134—147. (In Russian)
- Makhotkin I., Robi D., Kurszlaukis S., Valuyev Ye., Pylayev N. Vozrast i model' obrazovaniya trubok Lomonosovskogo mestorozhdeniya almazov. Arkhangel'skaya oblast', Severo-Zapad Rossii. [Age and model of the formation of pipes of the Lomonosov diamond deposit. Arkhangel'sk region, North-West Russia]. *Trudy konferentsii «MINEX FORUM Severo-Zapad 2007»* [Proc. Symp. «MINEX FORUM Northwest-2007»]. Petrozavodsk, 2007, pp. 32—39. (In Russian)
- Podchasov V., Minorin V., Bogatyh Y. et al. *Geology, prognoz, metod of prospecting, estimate and exploration root diamond deposits. Book 1. Root deposits*. Yakutsk, «Publish IaF SO RAN», 2004, 548 p. (In Russian)
- Podchasov V., Minorin V., Bogatyh Y. et al. *Geology, prognoze, methods of prospecting, estimate and exploration diamond deposits. Book 2. Placer deposits*. Yakutsk, «Publish IaF SO RAN», 2004, 424 p. (In Russian)
- Tolmachova T.Y., Alekseyev A.S., Reymers A.N., Larchenko V.A., Gunin A.P. Ordovikskie konodonty v ksenolitakh kimmerlitovykh trubok Yugo-Vostochnogo Belomor'ya [Ordovician conodonts in xenoliths of kimberlite pipes of the South-Eastern Belomor'ye]. *Paleostrat-2008. Godichnoye sobraniye sekcii paleontologii MOIP i Moskovskogo otdeleniya paleontologicheskogo obshchestva* [Annual meeting of the paleontology section of MSN and the Moscow branch of the Paleontological Society]. Moscow, 28—29 January, 2008, Thesis of reports, Moscow, 2008, pp. 55—58. (In Russian)
- Scott Smith B.H. Canadian kimberlites: Geological characteristics relevant to emplacement. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2008, no 174, pp. 9—19.
- Wilson L., Head J. W. Kimberlite ascent and eruption. *Nature*, 2007, no. 447, pp. 53—57.