



ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СРЕДНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ КИМБЕРЛИТОВ АЛАКИТ-МАРХИНСКОГО ПОЛЯ, ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ

Сформировавшиеся в среднем палеозое кимберлитовые поля Западной Якутии в течение длительного периода неоднократно подвергались денудации. Эрозионный срез кимберлитов отождествляется с реконструированной мощностью вмещающей толщи, включающей осадочные и магматические породы раннего и среднего палеозоя. Абсолютный возраст кимберлитов, содержащих обломки верхнедевонских базальтов и ксенолитов осадочных пород с фауной силура и девона, широко варьирует. Величина эрозионного среза отдельных диатрем противоречит их морфогенетическому облику. Алаakit-Мархинское поле включает около 100 кимберлитовых тел, по многим из которых имеются надёжные абсолютные датировки и другие сведения, позволяющие судить о возрасте и уровне денудации. Рассмотрены особенности кимберлитообразования, обусловленные стадийностью, разъясняющие причины несоответствия морфологии и глубины эрозионного среза отдельных диатрем. Подтверждается двухстадийное проявление среднепалеозойской эпохи образования кимберлитов: позднесилурийско-раннедевонское и позднедевонско-раннекаменноугольное. В последней стадии выделяются три подстадии: позднедевонская, позднедевонско-раннекаменноугольная и раннекаменноугольная. Рубежи определены отличием уровня эрозионного среза и геологического строения кимберлитов каждой подстадии, что имеет важное значение при прогнозировании и поисках коренных месторождений алмазов. Полихронность кимберлитов позволяет объяснить особенности современного облика диатрем и ответить на дискуссионные вопросы, связанные с их образованием.

Ключевые слова: алмаз, кимберлит, эрозионный срез, средний палеозой, абсолютный возраст, ксенолит, Западная Якутия.

Коренные месторождения алмазов и около половины кимберлитовых полей России (13 из 27), локализованных на территории Якутской алмазоносной провинции (ЯАП), формировались в среднем палеозое, хотя имеются сведения и о более раннем раннепалеозойском внедрении (в венде, кембрии, ордовике, силуре) отдельных диатрем [8, 9, 27]. Большинство исследователей признаётся, что практически все погребённые кимберлитовые тела в той или иной мере эродированы [1]. В зависимости от уровня денудации на поверхность выходят различные горизонты диатрем, т. е. их геологоморфологический облик и внутреннее строение позволяют в первом приближении определять уровень денудации. В геологическом строении крупных кимберлитовых трубок выделяются следующие фациальные горизонты (сверху вниз): 0–200 м – кратерный (туфы, туфобрекчии, осадочно-вулканические и осадочные породы); 0–450 м – жерловый

Горев Николай Иванович

кандидат геолого-минералогических наук
ведущий научный сотрудник¹
NIGorev00@gmail.com

Колесник Александр Юрьевич

заведующий лабораторией¹
KolesnikAYu@alrosa.ru

Николенко Евгений Игоревич

кандидат геолого-минералогических наук
заведующий лабораторией^{1,2}
NikolenkoEl@alrosa.ru

Проценко Елена Викторовна

заведующая отделом¹
ProtsenkoEV@alrosa.ru

Старостин Пётр Вячеславович

младший научный сотрудник¹
StarostinPV@alrosa.ru

Шахурдина Надежда Константиновна

старший научный сотрудник¹
ShakhurdinaNK@alrosa.ru

¹ Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

² ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск

(воронкообразный) с конусностью до 45° (туфобрекчии, брекчии порфиоровые, на глубине автолитовые); от 300–400 до 800–1500 м – центральный (столбообразный) с конусностью 80–87° (порфиоровые и массивные кимберлиты); 800–1500 м – нижний (рудоподводящие дайки, штокверки – массивные, порфиоровые фации с малым количеством обломков).

Указанные горизонты в строении крупных диатрем не имеют однозначных границ и часто довольно условны. Тем не менее многими исследователями отмечается приуроченность различного типа пород к определённым интервалам кимберлитовых трубок [5, 14]. Большое количество отклонений не позволяет использовать текстурно-структурный и вещественный признаки кимберлитов в качестве надёжного критерия оценки глубины эрозионного среза диатрем.

Наиболее точным способом определения масштаба денудации рудных тел и вмещающих толщ считается палеогеологический метод, позволяющий восстанавливать их прежние разрезы [2, 19, 21 и др.]. Однако, в отдельных случаях наблюдаются существенные принципиальные расхождения величины эрозионного среза некоторых диатрем, установленной различными способами. Таким несоответствием является, в частности, наличие кратерных построек в ряде глубокоэродированных по палеогеологическим построениям кимберлитовых трубок (тр. Юбилейная и др.) [4]. Эти факты требуют разъяснения, поскольку могут иметь важное значение при поисках коренных месторождений алмазов и решении ряда теоретических вопросов алмазной геологии – минералогической и петрохимической зональности кимберлитов и проч. [5, 12].

Первые сведения по палеогеоморфологии районов кимберлитобразования, позволяющие определить уровень денудации рудовмещающих пород и отдельных кимберлитовых полей и диатрем Якутской алмазоносной провинции, принадлежат Ф. Ф. Брахофгелю и другим исследователям [2, 16 и др.]. Эта информация периодически пополняется и уточняется [7, 21 и др.]. Основная причина существующих недочётов и противоречий кроется в низкой достоверности восстановленной мощности эродированных толщ, непредставительном количестве исследованных ксенолитов осадочных пород из кимберлитов, недостаточной точности определения абсолютного возраста, отсутствии точной геологической привязки изученных образцов.

Следует также учитывать, что эрозионный срез кимберлитовых тел не всегда тождествен величине денудации потенциально рудовмещающих пород. Причинами этого может быть следующее:

- кимберлитовые тела и их отдельные фазы внедрялись в разное время, когда средне- и нижнепалеозойские породы ещё не сформировались или, напротив, уже в той или иной мере разрушились;
- одновременно внедрившиеся трубки при расчленённом рельефе могли иметь различный гипсометрический уровень поверхности.

К примеру, одни из них располагались в долинах рек и низинах, другие – на водоразделах, а следовательно, эродировались на разную величину. Следует признать, что эрозионный срез конкретного кимберлитового тела можно однозначно сопоставлять с реконструированной мощностью только тех отложений, ксенолиты которых оно содержит.

Наиболее изученным и информативным в плане среднепалеозойского седиментогенеза с последующей деструкцией ниже- и среднепалеозойских пород является Алакит-Мархинское кимберлитовое поле (АМКП). Оно включает около 100 рудных тел, в том числе шесть месторождений, частично или полностью перекрытых верхнепалеозойскими отложениями. Пять месторождений, находящихся в разработке, исследованы наиболее детально. Анализ фактического материала показывает, что кимберлиты АМКП, как, впрочем, и других среднепалеозойских полей ЯАП, отличаются широким возрастным диапазоном и различным уровнем денудации (таблица) [7]. Важным возрастным репером кимберлитовых тел, помимо абсолютного возраста, являются палеонтологически датированные ксенолиты вмещающих осадочных пород, нередко погружённые в диатремы на глубину до 200–500 м ниже своего стратиграфического положения, а отдельные образцы до 1000 м и более [19 и др.]. Находки таких образцов позволяют определять не только геологический возраст трубок, но и стратиграфическую последовательность палеоразреза рудовмещающей толщи (рис. 1).

На данном рисунке отчётливо устанавливается факт приуроченности отдельных эпох кимберлитобразования к перерывам в осадконакоплении, так называемым палеотектоническим нишам [2, 10, 18]. Этим стадиям отвечает значительное уменьшение скорости осадконакопления, вплоть до полно-

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ АЛАКИТ-МАРХИНСКОГО ПОЛЯ

Трубки, месторождения	Эрозионный срез рудовмещающих пород, м	Эрозионный срез месторождений, м [2, 7]		Возраст кимберлитовых трубок	
		достоверный	предполагаемый	Датированные ксенолиты [2, 19]	Абсолютный возраст, млн лет [2, 8, 9, 24, 27]
Краснопресненская	325	–	До 100	–	–
Юбилейная	450	450 ?	200–450	$O_1ar - D_3fr$	341–354, 366
Айхал	500	500 ?	200–500	D_3fr	$(344-384) \pm 24$
Заря	480	–	100–480	–	358 ± 4
Комсомольская	490	240	–	–	409, 419, 422
Сытыканская	490	–	200–300	$O_1tr - S_1l$	$384 \pm 14, 344$

го прекращения, появления перерывов в осадко-накоплении и размывов. Слабовыраженные палеотектонические ниши в районе АМКП фиксируются в среднем и позднем ордовике и конце позднего силура – раннем девоне, а наиболее масштабная, совпадающая с деструктивной стадией среднепалеозойского этапа тектоно-магматического развития, приходится на конец девона – ранний карбон. Она отличается региональным стратиграфическим перерывом и значительным эрозионно-денудационным срезом (сотни метров) средне-нижнепалеозойских пород и кимберлитов. Заканчивается деструктивная стадия пенепленизацией поверхности раннего палеозоя и формированием мощных кор выветривания (см. рис. 1) [10, 18].

Анализ имеющихся данных абсолютного возраста кимберлитов ЯАП позволяет выделить раннепалеозойскую эпоху с абсолютным возрастом более 430 млн лет и две среднепалеозойские: позднесилурийско-раннедевонскую (420–400 млн лет) и позднедевонско-раннекаменноугольную (380–350 млн лет) [8, 9, 24, 27], удовлетворительно совпадающие по времени с образованием отмеченных выше палеотектонических ниш (см. рис. 1).

Кимберлитовые тела раннепалеозойской эпохи в пределах АМКП представлены тр. Липа с единственной датировкой 439 ± 1 млн лет [9 и др.]. Тем не менее анализ абсолютного возраста кимберлитовых тел других среднепалеозойских полей ЯАП с определённой долей вероятности позволяет выделять средне-позднеордовикскую и вендско-раннекембрийскую эпохи [8], что подтверждается наличием на этих геохронологических уровнях палеотектонических ниш. К ордовикской эпохе относится тр. Амакинская в Мирнинском поле, а максимальное количество кимберлитовых тел с регулярными ран-

непалеозойскими датировками, включая и вендские, встречается в северных полях ЯАП: Далдынском (тр. Удачная с отдельными датами в интервале 509–699 млн лет), Чомурдахском, Укукитских и др. [9 и др.].

То есть кимберлитовые тела с допозднесилурийским абсолютным возрастом правомерно выделять в отдельный раннепалеозойский этап кимберлитообразования. Связано это ещё и с тем, что сформированные в ордовике диатремы, как следует из рисунка, отличаются меньшим уровнем денудации, а в пределах АМКП они, как и более древние, могут не выходить на уровень эрозионного среза. Такие тела не являются «слепыми», так как они в раннем палеозое прорывались на земную поверхность, а затем были погребены под более молодыми образованиями. Несколько «слепых» кимберлитовых тел вскрыто карьером тр. Удачная, а также обнаружено при разведке глубоких горизонтов тр. Мир (геологические фонды АК «АЛРОСА»). Примером незавершённого становления кимберлитовой диатремы является тр. Одинцовская, отнесённая к «полуслепым» [23]. Особенностью кимберлитового магматизма раннепалеозойского этапа является также то, что его проявления не образуют самостоятельных кимберлитовых полей (пока не известны). То есть внедрение раннепалеозойских кимберлитов предшествовало формированию на данной площади более масштабных среднепалеозойских рудных полей, в отдельных диатремах которых раннепалеозойские кимберлиты выполняют первые (ранние) фазы.

На площади АМКП среднепалеозойская эпоха, по определениям абсолютного возраста и датированному ксеногенному материалу осадочных пород из кимберлитов, включает две стадии: поздне-

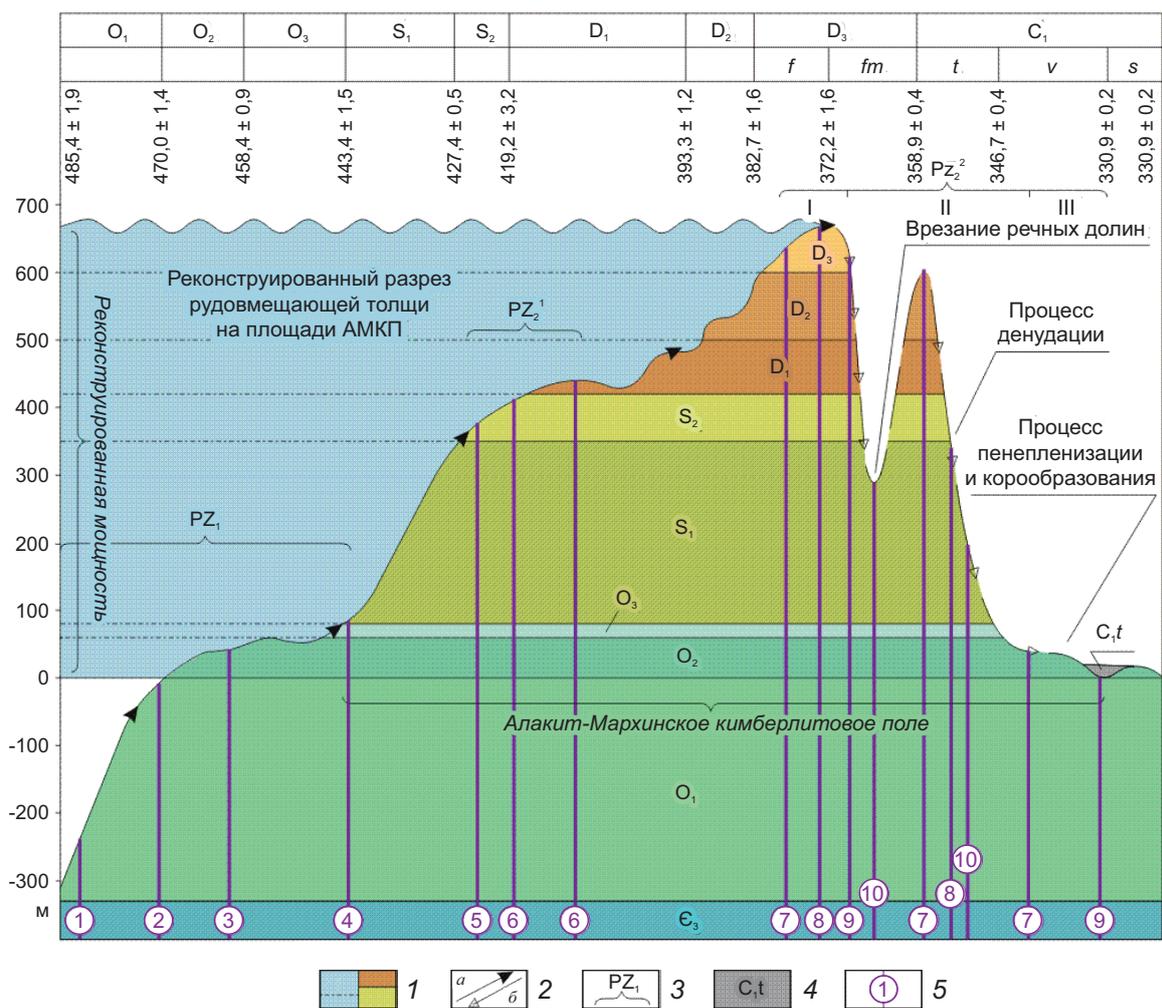


Рис. 1. ПРИНЦИПАЛЬНАЯ СХЕМА ОБРАЗОВАНИЯ СРЕДНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОЛЕЙ ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ (на примере Алакит-Мархинского поля):

1 – разновозрастные отложения нижнего и среднего палеозоя; 2 – стадии геологического развития: а – конструктивная (процесс ниже-среднепалеозойского осадконакопления), б – позднедевонско-раннекаменноугольная деструктивная (процессы денудации, пенеппенизации, корообразования); 3 – эпохи и стадии кимберлитобразования: раннепалеозойская эпоха (PZ₁); среднепалеозойская эпоха (PZ₂): позднесилурийско-раннедевонская стадия (PZ₂¹), позднедевонско-раннекаменноугольная стадия (PZ₂²): I подстадия, II подстадия, III подстадия; 4 – тегюрюкская кимберлитоперекрывающая толща (C,t); 5 – кимберлитовые трубки: 1 – Удачная (Далдынское кимберлитовое поле), 2 – Снежинка, Уральская (Чомурдахское кимберлитовое поле), 3 – Амакинская (Мирнинское кимберлитовое поле), 4 – Липа и последующие трубки (Алакит-Мархинское кимберлитовое поле), 5 – Чукукская, 6 – Комсомольская, 7 – Юбилейная, 8 – Айхал, 9 – Краснопресненская, 10 – Сытыканская

силурийско-раннедевонскую и позднедевонско-раннекаменноугольную [9, 24 и др.].

К кимберлитам позднесилурийско-раннедевонской стадии относятся трубки Дружба – 431 ± 1 млн лет, Чукукская (бывшая Акар-С) – 430 ± 2 млн лет, Комсомольская (см. табл., рис. 1). Перечисленные кимберлитовые тела внедрялись, когда девонские отложения отсутствовали, т. е. для магматических

образований данной стадии они являлись перекрывающими. Так как мощность девонских отложений в пределах АМКП составляла 250 м [2], то эрозионный срез этих трубок будет на 250 м меньше позднедевонских.

Кимберлиты позднедевонско-раннекаменноугольной стадии по фазам внедрения подразделяются на три подстадии: позднедевонскую, поздне-

девонско-раннекаменноугольную и раннекаменноугольную (см. рис. 1), отличающиеся уровнем денудации и другими особенностями, приведёнными ниже.

Для кимберлитов ранних (дофаменских) фаз характерна максимальная глубина денудации, сопоставимая с реконструированной мощностью рудовмещающих пород, оцениваемой для АМКП в 650 ± 50 м [2] и 320–550 м [7]. Из известных месторождений к данной стадии относятся отдельные фазы трубок Айхал и Юбилейная (см. табл., рис. 1) и других кимберлитовых тел, содержащих датированные ксенолиты осадочных пород позднего девона.

В фаменский и турнейский века кимберлиты внедрялись в процессе эрозионно-денудационного разрушения отложений среднего и раннего палеозоя. В фаменском веке на фоне регионального воздымания платформы происходило интенсивное врезание речных долин, характеризующихся V-образным поперечным профилем и крутым уклоном русла. В такой палеогеографической обстановке становление кимберлитовых тел (или их отдельных фаз) осуществлялось одновременно как на водоразделах, где могли сохраняться девонские отложения, так и в долинах рек, вскрывающих силурийские породы (см. рис. 1). Абсолютные отметки кровли диатрем, находящиеся в различных геоморфологических обстановках, могли отличаться на сотни метров, следовательно, на такую же величину разнится и уровень их эрозионного среза. В начале каменноугольного периода (турнейский век) изменялся морфологический тип долин на трапецевидный и корытообразный с преобладанием у водотоков боковой эрозии. Параллельно с расширением речных долин и выполаживанием водораздельных пространств продолжалось внедрение диатрем. То есть, кимберлиты фаменских и турнейских фаз эродированы на различную величину: от 550 м – ранние фазы, до 100–50 м – более поздние (рис. 2, см. табл., рис. 1). Из известных месторождений к данной подстадии относится тр. Сытыканская (см. табл.), в которой отсутствуют датированные ксенолиты девона. Не исключено, что в это же время внедрялись отдельные фазы трубок Айхал и Юбилейная.

Кимберлиты поздних раннекаменноугольных фаз (визейский и серпуховский века), согласно обзору абсолютных датировок [9], представлены тр. Москвичка (333 ± 12 млн лет), а по наличию сохра-

нившихся кратерных построек – трубками Краснопресненская и Юбилейная (см. рис. 1, 2). В геологической истории региона ранний карбон характеризуется процессами пенепленизации и корообразования [13, 18], соответствующими по возрасту тегюрюкской толще, датированной визейским – серпуховским веками [6]. Толща перекрывает тр. Краснопресненская [22].

Выше отмечалось, что основные противоречия (несоответствия) возникают при сопоставлении глубины эрозионного среза кимберлитовых трубок Юбилейная и Айхал, составляющей по результатам палеогеологических реконструкций 450–500 м (см. табл.), с незначительным уровнем денудации их кратерных фаций. У крупных кимберлитовых трубок Африки (Мвадуи, Орапа) с сохранившимися кратерными валами глубина кратерных воронок составляет порядка 200 м [25]. По нашему мнению, наиболее вероятной причиной установленного несоответствия является многофазный характер и, как следствие, полихронность, присущая крупным диатремам, в том числе всем коренным месторождениям алмазов АМКП. Их первые фазы внедрялись в конце девона, а завершающие – в начале карбона (см. рис. 1). Данной точке зрения не противоречат широкий диапазон изотопных дат, присутствие девонских ксенолитов в кимберлитах и наличие чашеобразных расширений в верхней части трубок с сохранившимися кратерными фациями. То есть, морфогенетический облик диатрем даёт возможность уточнять время их внедрения и геоморфологическое положение на завершающей стадии формирования. В трубках взрыва, расположенных в долинах водотоков, кратерные чаши выполняются обычно терригенным стратифицированным материалом. Если это склон, то в кратерных воронках преобладают делювиально-пролювиальные образования. Кратерные фации диатрем, внедрившихся на водораздельных пространствах, отличаются обилием глин и материала кор выветривания вмещающих пород.

Трубка Юбилейная имеет чётко выраженный чашеобразный раструб глубиной до 230 м. Кратерные фации, представленные стратифицированной вулканогенно-осадочной толщей мощностью до 150 м, содержат в основании большой объём ксенолитов вмещающих пород [22]. Эрозионный срез, судя по современному облику трубки, вряд ли превышает 50–100 м. Хотя кимберлиты первой фазы внедрения, если учитывать находки ксенолитов

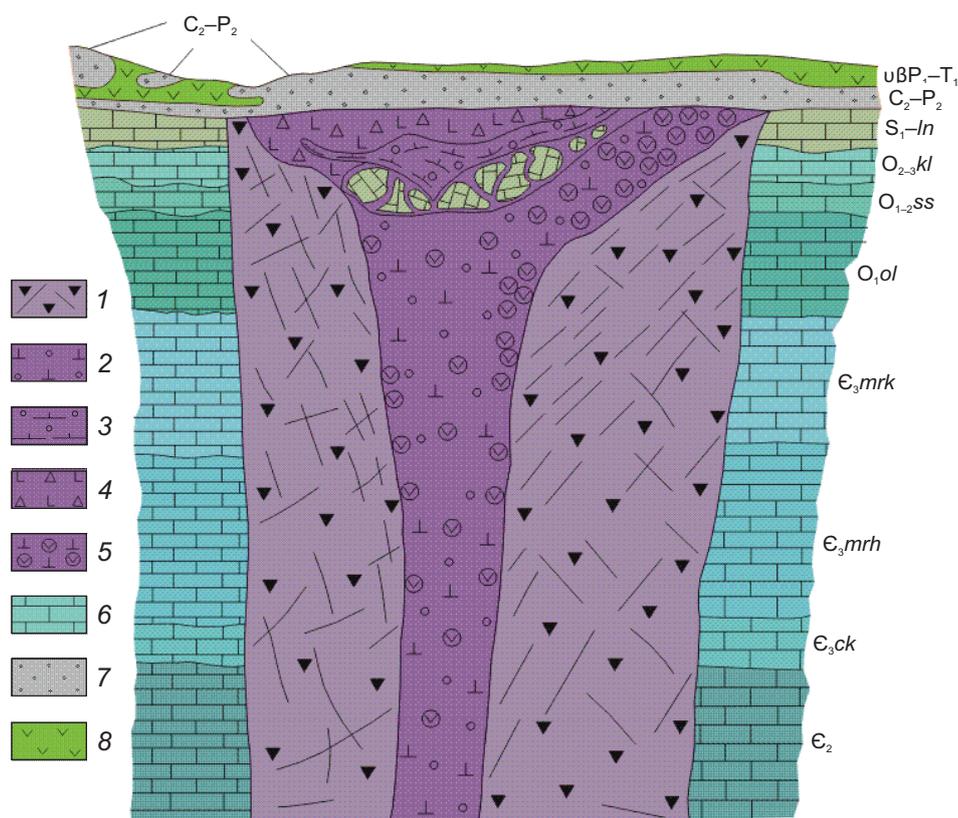


Рис. 2. СХЕМАТИЧЕСКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ТР. ЮБИЛЕЙНАЯ, ПО [26]:

1 – порфиновые кимберлиты (I фаза внедрения); 2 – автолитовая кимберлитовая брекчия (II фаза внедрения); 3 – такситовая и атакситовая кимберлитовые брекчии; 4 – кимберлитовая туфобрекчия; 5 – автолиты порфирового кимберлита в кимберлитовой брекчии; 6 – нижнепалеозойские терригенно-карбонатные породы, вмещающие кимберлиты; 7 – верхнепалеозойские терригенно-осадочные породы, перекрывающие кимберлиты; 8 – породы трапповой ассоциации (P₃-T₁)

осадочных пород силура и девона, срезаны на глубину до 450 м (см. табл.).

Трубка Юбилейная – яркий пример крупных диатрем, характеризующихся многостадийностью и широким интервалом (до 30 млн лет) формирования. Её первая фаза внедрялась в позднем девоне (см. рис. 1). Она представлена порфировым кимберлитом, слагающим рудный столб цилиндрической формы, типичной для средних горизонтов трубок взрыва с эродированным раструбом (см. рис. 2). В конце турнейского – начале визейского века, после завершения активной стадии эрозионно-денудационного процесса, на площади АМКП, включая и тр. Юбилейная, произошло внедрение более поздних кимберлитовых фаз, практически не подвергшихся эрозии (см. рис. 2) [12, 26].

Трубка Айхал – раструб практически отсутствует, кратерные фации представлены небольшим

линзовидным телом вулканогенно-осадочного состава и кимберлитовыми туфами [25], являющимися, вероятно, наиболее глубокой частью кратерной постройки. Эрозионный срез трубки ~ 200 м, а её первых фаз – 500 м (см. табл.).

Трубка Краснопресненская имеет поверхность с явно выраженным раструбом до глубины 150 м и чашеобразным углублением 80–100 м, заполненным кратерными фациями. Кратерная часть диатремы перекрыта осадочными отложениями тегюрюкской толщи раннего карбона мощностью до 51 м [23]. Данные по ксенолитам и абсолютному возрасту кимберлитов отсутствуют. Эрозионный срез последних фаз трубки минимальный, а первых не ясен из-за отсутствия фактических данных как по абсолютному возрасту кимберлитов, так и по ксенолитам осадочных пород. Высока вероятность, что ранние фазы присутствуют, на что ука-

зывают обширные ореолы кимберлитовых минералов в позднепалеозойских терригенных коллекторах на участке её локализации (материалы ГРК АК «АЛРОСА»).

Трубка Сытыканская состоит из двух самостоятельных тел. Их внедрение произошло, вероятно, в раннем карбоне, судя по абсолютным датировкам [9] и отсутствию ксенолитов пород девонского возраста (см. табл.), когда девонские и частично силурийские отложения были размыты. Кратерные фации отсутствуют, хотя в северо-восточном теле, состоящем из двух фаз, сохранился фрагмент раструба. Существенные различия вещественного состава кимберлитов, кристалломорфологических и прочих особенностей алмазов в разных телах [22] указывают либо на существенный временной разрыв между фазами внедрения, либо на независимые промежуточные очаги. Эрозионный срез отдельных фаз трубки различный и колеблется в интервалах 50 – 100 – 300 м.

Трубка Комсомольская менее денудирована, поскольку её срез меньше реконструированного на мощность перекрывающих девонских отложений (250 м). Отсутствие кратерных фаций, но сохранившийся фрагмент раструба говорят о её среднем уровне денудации, ориентировочно 200 м.

Трубка Заря – данные по ксенолитам и абсолютному возрасту кимберлитов отсутствуют. Судя по морфологии рудного тела, эрозионный срез последних фаз составляет ~ 200–300 м.

Вышеизложенное свидетельствует о том, что кимберлитовые трубки различных стадий (подстадий) отличаются не только возрастом, но и уровнем денудации. При этом наиболее поздние фазы срезаны минимально, они в основном и обуславливают современный облик диатрем.

В итоге выполненных исследований следует подчеркнуть, что эрозионный срез кимберлитовых тел АМКП во многом связан с их возрастом, однако эта зависимость не прямая, часто имеет сложный характер, определяемый другими факторами.

Кимберлитовые тела раннепалеозойской эпохи кимберлитообразования эродированы на различную величину, но в целом небольшую: досилурийские трубки – минимально, а не вскрытые эрозионными процессами – не затронуты вообще.

Кимберлиты позднесилурийско-раннедевонской стадии (тр. Комсомольская и др.) срезаны на реконструированную мощность рудовмещающих

пород без учёта мощности девонских отложений, являющихся для них перекрывающими.

Кимберлиты позднедевонско-раннекаменноугольной стадии (к которой относятся все месторождения АМКП, кроме тр. Комсомольская) эродированы следующим образом:

- кимберлиты отдельных фаз ранней подстадии эродированы максимально – на восстановленную мощность рудовмещающих отложений (отдельные фазы тр. Айхал, Юбилейная и др.);
- кимберлиты отдельных фаз средней подстадии эродированы дифференцированно: от максимума – диатремы, сформированные в конце девона – начале карбона, до минимума – внедрившиеся в конце турнейского – начале визейского века, по завершении активных эрозионно-денудационных процессов. К данной подстадии относятся кимберлитовые тела (или их отдельные фазы), содержащие только силурийские ксенолиты.

Кимберлитовые тела (отдельные фазы) поздней раннекаменноугольной подстадии (тр. Краснопресненская, Юбилейная) эродированы в минимальном объёме.

Таким образом, приведённые материалы показывают, что крупные кимберлитовые тела и все коренные месторождения АМКП имеют многофазное строение, свидетельствующее об их полихронном характере. Наиболее отчётливо (однозначно) это выражено у тр. Юбилейная, первые фазы которой, судя по датированным ксенолитам осадочных пород, внедрялись во франском веке позднего девона, а последние, исходя из практически не разрушенной кратерной постройки, – в визейском веке раннего карбона. То есть, формирование отдельных диатрем продолжалось первые десятки миллионов лет, а АМКП в целом – более 80 млн лет, судя по абсолютным датировкам кимберлитов и наличию в них ксенолитов осадочных пород силура и девона [2, 9]. На длительность процесса кимберлитообразования указывал в своих работах С. И. Костровицкий [11, 12]. По его мнению, существенные различия вещественного состава отдельных разновидностей кимберлитов и ряд других особенностей – «неоспоримый аргумент самостоятельности отдельных фаз внедрения мантийного (а не внутритрубочного) их происхождения, который чрезвычайно важен для понимания механизма формирования кимберлитов» [11, 12]. Наиболее масштабная и продуктивная эпоха среднепалеозойского

кимберлитообразования в пределах АМКП приходится на завершающую – деструктивную стадию среднепалеозойского этапа тектоно-магматического развития.

В геологической литературе кимберлиты отмеченных выше стадий и подстадий объединяются обычно в единую среднепалеозойскую (позднедевонско-раннекаменноугольную) эпоху кимберлитообразования [2]. По-видимому, это справедливо, поскольку в рамках одной трубки взрыва принято выделять или фазы внедрения, или разновидности (типы) кимберлитовых пород, хотя наличие многостадийных магматических тел (массивов) геологами не оспаривается. Имеющиеся данные по абсолютным датировкам и ксеногенным реперам в кимберлитах не всегда позволяют достоверно устанавливать возрастную принадлежность и взаимоотношение отдельных фаз и, как следствие, стадий и подстадий. Тем не менее, не стоит игнорировать тот факт, что отдельные фазы практически всех месторождений АМКП эродированы на различную величину, часто значительную. Это, несо-

мненно, следует учитывать при поисковых работах. Так, в зависимости от уровня денудации месторождения в минералогических ореолах (главный поисковый признак) могут доминировать кимберлитовые минералы с типоморфными признаками, характерными для отдельной фазы внедрения и т. д.

Для уточнения возраста кимберлитов и глубины их эрозионного среза рекомендуется дополнительное изучение ксенолитов осадочных пород из кимберлитовых месторождений ЯАП. Высокая информативность микрофауны и, особенно, конодонтов, для которых разработаны детальные зональные шкалы для раннего и среднего палеозоя Сибири, указывает на оптимальный метод их изучения.

Таким образом, комплексное изучение палеогеологии рудных полей – уровня денудации рудовмещающих пород, возраста кимберлитов и ксенолитов из них, строения кратерных фаций, магматической и геохимической зональности диатрем – ещё один шаг на пути успешного решения задачи поисков коренных месторождений алмазов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобривич А. П., Бондаренко М. Н., Гневушев М. А., Красов А. М., Смирнов Г. И., Юркевич Р. К. Алмазные месторождения Якутии / Под ред. В. С. Соболева. – М.: Госгеолтехиздат, 1959. – 527 с.
2. Брахфогель Ф. Ф. Геологические аспекты кимберлитового магматизма северо-востока Сибирской платформы. – Якутск: ЯФ СО АН, 1984. – 128 с.
3. Брахфогель Ф. Ф., Зайцев А. И., Шамшина Э. А. Возраст кимберлитовых магматитов – основа прогнозирования алмазности территорий // Отечественная геология. – 1997. – № 9. – С. 20–24.
4. Брахфогель Ф. Ф., Ковальский В. В., Корзилов А. Н. [и др.] Возраст и денудационный срез одной из кимберлитовых трубок Алаakitского поля // Минералогия и геохимия кимберлитовых и трапповых пород. – Якутск, 1979. – С. 40–51.
5. Василенко В. Б., Зинчук Н. Н., Кузнецова Л. Г. Петрохимические модели алмазных месторождений Якутии. – Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1997. – 574 с.
6. Ващенко Е. М., Крючков А. И., Лелюх М. И. [и др.]. О нижнекарбонном миоспорном комплексе северо-восточного борта Тунгуской синеклизы // Палинология и полезные ископаемые: тезисы докладов VI Всесоюзной палинологической конференции. – Минск, 1989. – С. 49–50.
7. Горев Н. И., Шахурдина Н. К., Салихов Р. Ф., Проценко Е. В. К вопросу об эрозионном срезе кимберлитов Алаakit-Мархинского рудного поля // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2020. – Т. 25, № 1. – С. 20–31.
8. Дэвис Г. Л., Соболев Н. В., Харьков А. Д. Новые данные о возрасте кимберлитов Якутии, полученные уран-свинцовым методом по цирконам // Доклады Академии наук. – 1980. – Т. 254, № 1. – С. 175–179.
9. Зайцев А. И., Смелов А. П. Изотопная геохронология пород кимберлитовой формации Якутской провинции. – Якутск: ИГАБМ СО РАН, 2010. – 108 с.
10. Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Шевырев Л. Т. О количестве эпох мощного корообразования и кимберлитового магматизма в неогее Земли // Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков алмазных месторождений. – Мирный, 1998. – С. 48–51.
11. Костровицкий С. И. Геохимические особенности минералов кимберлитов. – Новосибирск: Наука, 1986. – 263 с.
12. Костровицкий С. И., Специус З. В., Яковлев Д. А., Фондер-Флаасс Г. С., Суворова Л. Ф., Богуш И. Н. Атлас коренных месторождений алмазов Якутской кимберлитовой провинции. – Мирный: НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО). – 2015. – 480 с.

13. Матухин Р. Г. Девон и нижний карбон Сибирской платформы (состав, условия осадконакопления, минерагения). – Новосибирск : Наука, СО, 1991. – 164 с.
14. Милашев В. А. Петрохимия кимберлитов Якутии и факторы их алмазоносности // Труды НИИГА. – Л. [СПб.] : Недра, 1965. – Т. 139. – 160 с.
15. Общая стратиграфическая (геохронологическая) шкала. Стратиграфический кодекс России. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2019. – 96 с.
16. Отнюков Н. И. Новые данные о глубине денудационного среза кимберлитовых трубок Мало-Ботуобинского района // Геология и геофизика. – 1971. – С. 143–147.
17. Рожков И. С., Михалев Г. П., Прокопчук Б. И., Шамшина Э. А. Алмазоносные россыпи Западной Якутии. – М. : Наука, 1967. – 280 с.
18. Савко А. Д., Шевырев Л. Т., Зинчук Н. Н. Эпохи мощного корообразования и алмазоносного магматизма в истории Земли. – Воронеж : Воронежский государственный университет, 1999. – 102 с.
19. Тарабукин В. П. Конодонты из ксенолитов осадочных пород в кимберлитовых трубках Далдыно-Алакитского района (восточная часть Сибирской платформы) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2003. – № 2. – С. 102–112.
20. Тарабукин В. П. Определение миграции ксенолитов осадочных пород в кимберлитовых трубках на основе изучения конодонтов // Отечественная геология. – 2012. – № 5. – С. 45–48.
21. Тарабукин В. П., Каныгин А. В., Смирнов Д. Л., Павлушин А. Д., Буянкина Л. П. [и др.]. Находки палеозойских конодонтов в ксенолитах кимберлитовых трубок Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40, № 6. – С. 834–842.
22. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Зуев В. М. История алмаза. – М. : Недра, 1997. – 601 с.
23. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Геолого-генетические основы шлихо-минералогического метода поисков алмазных месторождений. – М. : Недра, 1995. – 348 с.
24. Шамшина Э. А. Возраст кимберлитовых магматитов – основа прогнозирования алмазоносности территорий // Новые идеи в науках о Земле : тезисы докладов III Международной конференции. – М., 1997. – Т. 2. – С. 192.
25. Hawthorne J. B. Model of a kimberlite pipe // Physics and Chemistry of the Earth. – 1975. – V. 9. – pp. 1–15.
26. Kimberlites of Yakutia. Field guide book. – Novosibirsk : United Institute of Geology, Geophysics and Mineralogy SB RAS, 1995. – 108 p.
27. Sun J., Liu C., Tappe S., Kostrovitsky S. I., Wu F., Yakovlev D., Yang Y., Yang J. Repeated kimberlite magmatism beneath Yakutia and its relationship to Siberian flood volcanism: Insights from in situ U-Pb and Sr-Nd perovskite isotope analysis // Earth and Planetary Science Letters. – 2014. – V. 404. – pp. 283–295.

REFERENCES

1. Bobrievich A. P., Bondarenko M. N., Gnevushev M. A., Kravsov A. M., Smirnov G. I., Yurkevich R. K. Almaznye mestorozhdeniya Yakutii [Diamond deposits of Yakutia], ed. V. S. Sobolev, Moscow, Gosgeoltekhizdat Publ., 1959, 527 p.
2. Brakhfogel' F. F. Geologicheskie aspekty kimberlitovogo magmatizma severo-vostoka Sibirskoi platformy [Geological aspects of kimberlite magmatism of the northeast of the Siberian platform], Yakutsk, YaF SO AN Publ., 1984, 128 p.
3. Brakhfogel' F. F., Zaitsev A. I., Shamshina E. A. Vozrast kimberlitovykh magmatitov – osnova prognozirovaniya alamazonosnosti territorii [Age of kimberlite magmatites – the basis for predicting diamond deposits], *Otechestvennaya geologiya* [Native geology], 1997, No 9, pp. 20–24. (In Russ.).
4. Brakhfogel' F. F., Koval'skii V. V., Korzilov A. N. et al. Vozrast i denudatsionnyi srez odnoi iz kimberlitovykh trubok Alakitskogo polya [Age and denudation section of one of the kimberlite pipes of the Alakitsky field], *Mineralogiya i geokhimiya kimberlitovykh i trappovykh porod* [Mineralogy and geochemistry of kimberlite and trap rocks], Yakutsk, 1979, pp. 40–51. (In Russ.).
5. Vasilenko V. B., Zinchuk N. N., Kuznetsova L. G. Petrokhimicheskie modeli almaznykh mestorozhdenii Yakutii [Petrochemical models of diamond deposits in Yakutia], Novosibirsk, Nauka Sib. predpriyatie RAN Publ., 1997, 574 p.
6. Vashchenko E. M., Kryuchkov A. I., Lelyukh M. I. et al. O nizhnekarbonovom miosporovom komplekse severo-vostochnogo borta Tunguskoi sineklizy [About the lower carbonic myospore complex of the northeast side of the Tungus syncline], *Palinologiya i poleznye iskopayemye : tezisy dokladov VI Vsesoyuznoi palinologicheskoi konferentsii* [Palynology and minerals: abstracts of the VI All-Union Palynological Conference], Minsk, 1989, pp. 49–50. (In Russ.).
7. Gorev N. I., Shakhurdina N. R., Salikhov R. F., Protchenko E. V. K voprosu ob erozionnom sreze kimberlitov Alakit-Markhinskogo rudnogo polya [On the issue of erosion

- section of kimberlites of Alakit-Markhinsky ore field], *Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki [Arctic and Subarctic Natural Resources]*, 2020, V. 25, № 1, pp. 20–31. (In Russ.).
8. Dehvis G. L., Sobolev N. V., Khar'kiv A. D. Novye dannye o vozraste kimberlitov Yakutii, poluchennye uran-svintsovym metodom po tsirkonam [New data on the age of kimberlites of Yakutia obtained by the uranium-lead method for zircons], *Doklady Akademii nauk [Reports of the Academy of Sciences]*, 1980, V. 254, No 1, pp. 175–179. (In Russ.).
 9. Zaitsev A. I., Smelov A. P. Izotopnaya geokhronologiya porod kimberlitovoi formatsii Yakutskoi provintsii [Isotope geochronology of rocks of the kimberlite formation of the Yakutsk province], Yakutsk, IGABM SO RAN Publ., 2010, 108 p.
 10. Zinchuk N. N., Savko A. D., Shevyrev L. T. O kolichestve epokh moshchnogo koroobrazovaniya i kimberlitovogo magmatizma v neogee Zemli [On the number of epochs of powerful crust formation and kimberlite magmatism in the Neogean of the Earth], *Geologiya, zakonomernosti razmeshcheniya, metody prognozirovaniya i poiskov almaznykh mestorozhdenii [Geology, distribution patterns, methods for forecasting and searching for diamond deposits]*, Mirnyi, 1998, pp. 48–51. (In Russ.).
 11. Kostrovitskii S. I. Geokhimicheskie osobennosti mineralov kimberlitov [Geochemical features of kimberlite minerals], Novosibirsk, Nauka Publ., 1986, 263 p.
 12. Kostrovitskii S. I., Spetsius Z. V., Yakovlev D. A., Fon-der-Flaass G. S., Suvorova L. F., Bogush I. N. Atlas korennykh mestorozhdenii almazov Yakutskoi kimberlitovoi provintsii [Atlas of primary diamond deposits of the Yakut kimberlite province], Mirnyi, NIGP AK «ALROSA» (PAO) Publ., 2015, 480 p.
 13. Matukhin R. G. Devon i nizhnii karbon Sibirskei platformy (sostav, usloviya osadkonakopleniya, minerageniya) [Devon and lower carbon of the Siberian platform (composition, sedimentation conditions, mineralogeny)], Novosibirsk, Nauka SO Publ., 1991, 164 p.
 14. Milashev V. A. Petrokhimiya kimberlitov Yakutii i faktory ikh almazonosnosti [Petrochemistry of kimberlites of Yakutia and factors of their diamond content], *Trudy NIIGA [Proceedings of NIIGA]*, Leningrad, Nedra Publ., 1965, V. 139, 160 p.
 15. Obshchaya stratigraficheskaya (geokhronologicheskaya) shkala. Stratigraficheskii kodeks Rossii [General stratigraphic (geochronological) scale. Stratigraphic Code of Russia], St. Petersburg, VSEGEI Publ., 2019, 96 p.
 16. Otnyukov N. I. Novye dannye o glubine denudatsionno-go sreza kimberlitovykh trubok Malo-Botuobinskogo raiona [New data on the depth of the denudation cut of kimberlite pipes of the Malo-Botuobinsky district], *Geologiya i geofizika [Russian Geology and Geophysics]*, 1971, pp. 143–147. (In Russ.).
 17. Rozhkov I. S., Mikhalev G. P., Prokopchuk B. I., Shamshina E. A. Almazonosnye rossypi Zapadnoi Yakutii [Diamond placers in Western Yakutia], Moscow, Nauka Publ., 1967, 280 p.
 18. Savko A. D., Shevyrev L. T., Zinchuk N. N. Epokhi moshchnogo koroobrazovaniya i almazonosnogo magmatizma v istorii Zemli [Epochs of powerful crust formation and diamondiferous magmatism in the history of the Earth], Voronezh, Voronezhskii gosudarstvennyi universitet Publ., 1999, 102 p.
 19. Tarabukin V. P. Konodonty iz ksenolitov osadochnykh porod v kimberlitovykh trubkakh Daldyno-Alakitskogo raiona (vostochnaya chast' Sibirskei platformy) [Conodonts from xenoliths of sedimentary rocks in kimberlite pipes of the Daldyno-Alakit region (eastern part of the Siberian platform)], *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya [Stratigraphy. Geological correlation]*, 2003, No 2, pp. 102–112. (In Russ.).
 20. Tarabukin V. P. Opredelenie migratsii ksenolitov osadochnykh porod v kimberlitovykh trubkakh na osnove izucheniya konodontov [Determination of xenolith migration of sedimentary rocks in kimberlite pipes based on the study of conodonts], *Otechestvennaya geologiya [Native geology]*, 2012, No 5, pp. 45–48. (In Russ.).
 21. Tarabukin V. P., Kanygin A. V., Smirnov D. L., Pavlushin A. D., Buyankina L. P. et al. Nakhodki paleozoiskikh konodontov v ksenolitakh kimberlitovykh trubok Sibirskei platformy [Finds of Paleozoic conodonts in xenoliths of kimberlite pipes of the Siberian platform], *Geologiya i geofizika [Russian Geology and Geophysics]*, 1999, V. 40, No 6, pp. 834–842. (In Russ.).
 22. Khar'kiv A. D., Zinchuk N. N., Zuev V. M. Istoriya almaza [Diamond history], Moscow, Nedra Publ., 1997, 601 p.
 23. Khar'kiv A. D., Zinchuk N. N., Kryuchkov A. I. Geologo-geneticheskie osnovy shlikho-mineralogicheskogo metoda poiskov almaznykh mestorozhdenii [Geological and genetic foundations of the schlich method for prospecting diamond deposits], Moscow, Nedra Publ., 1995, 348 p.
 24. Shamshina E. A. Vozrast kimberlitovykh magmatitov – osnova prognozirovaniya almazonosnosti territorii [Age of kimberlite magmatites – the basis for predicting the diamond content of territories], *Novye idei v nauках o Zemle : tezisy dokladov III Mezhdunarodnoi konferentsii [New ideas in Earth sciences: abstracts of the III International Conference]*, Moscow, 1997, V. 2, pp. 192. (In Russ.).
 25. Hawthorne J. B. Model of a kimberlite pipe, *Physics and Chemistry of the Earth*, 1975, V. 9, pp. 1–15.
 26. Kimberlites of Yakutia. Field guide book, Novosibirsk, United Institute of Geology, Geophysics and Mineralogy SB RAS, 1995, 108 p.

27. Sun J., Liu C., Tappe S., Kostrovitsky S. I., Wu F., Yakovlev D., Yang Y., Yang J. Repeated kimberlite magmatism beneath Yakutia and its relationship to Siberian flood

volcanism: Insights from in situ U-Pb and Sr-Nd perovskite isotope analysis, *Earth and Planetary Science Letters*, 2014, V. 404, pp. 283–295.

FORMATION HISTORY OF MIDDLE PALEOZOIC KIMBERLITES OF THE ALAKIT-MARKHA FIELD, WESTERN YAKUTIA

Gorev N. I. (PhD, leading researcher¹)

Kolesnik A. Yu. (Head of laboratory¹)

Nikolenko E. I. (PhD, Head of laboratory^{1,2})

Protsenko E. V. (Head of department¹)

Starostin P. V. (junior researcher¹)

Shakhurdina N. K. (senior researcher¹)

¹ Research geological enterprise, ALROSA JSC, Mirny (Russia)

² Institute of Geology and Mineralogy, Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, (Russia)

Kimberlites of the Alakit-Markha field formed in the middle Paleozoic and were repeatedly eroded over a long time period. Measured surface kimberlite erosion is compared with the reconstructed thickness of the host rocks, which includes sedimentary and igneous rocks of the Tunguska syncline. The surface erosion of host rocks of individual kimberlites contradicts to their size and shape. Kimberlite formation features by stages are considered. The discrepancy between kimberlite size and shape, and volume of host rocks surface erosion is explained. The two-stage manifestation of the middle Paleozoic kimberlite formation is confirmed: late Silurian – early Devonian and late Devonian – early Carboniferous. Three sub-stages are distinguished in the last stage.

Keywords: diamond, kimberlite, erosion, middle Paleozoic, absolute age, xenolith, Western Yakutia.

