



КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 552.323.6:551.215.6(470.11)

О МЕХАНИЗМЕ ФОРМИРОВАНИЯ КИМБЕРЛИТОВЫХ ДИАТРЕМ АРХАНГЕЛЬСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

А.В. Ерёменко

Воронежский государственный университет

Относительно механизма формирования диатрем существует несколько гипотез. Большинство исследователей склоняется к взрывному, практически одноактному, характеру образования этих тел. Однако, некоторые авторы предполагают двухактное их формирование, которое предполагает вначале образование пространства для трубок в результате высокоскоростной газовой продувки и, затем, последующее их заполнение вязким магматическим материалом [1-3]. В.С. Шкодзинский в соавторстве с Г.В. Зольниковым [4] отрицают этот механизм, аргументируя его несостоятельность обилием ксенолитов в центральных частях трубок (а не на их периферии), массовым распространением брекчий с кимберлитовым составом обломков, существованием "слепых" трубок и др. Эти авторы считают ведущим механизмом декомпрессионное затвердевание кимберлитовой магмы и её дегазацию в условиях пониженных давлений, резкое остывание магмы в результате дегазации и отдачи тепла в захваченные ксенолиты (чем объясняется сохранность алмазов и отсутствие мегаморфизма ксенолитов вмещающих пород). По мнению указанных авторов, декомпрессионное затвердевание предшествует дегазации, т. е. магма застывает не за счёт перехода флюидной фазы в газовую, а за счёт уменьшения давления (декомпрессии), а далее выделение газов происходит внутри затвердевшего материала, после чего происходит взрыв.

Анализ литературных данных [1-14], а также изучение нескольких десятков скважин из трубок взрыва Архангельской провинции, позволяет предположить ещё один механизм формирования трубок взрыва.

При подъёме магмы к приповерхностным участкам коры и, следовательно, при достижении критического уровня декомпрессии, происходит резкая её дегазация (вскипание H_2O и CO_2). Содержание воды достигает в кимберлитовых магмах 5,9-9,7%, в лампроитовых – 2,5-6,4%. Содержание углекислоты достигает 3,3-8,5 и 0,1-0,45% соответствен-

но [5,6]. Из-за значительных количеств воды и углекислоты в кимберлитовых и родственных им магмах дегазационное охлаждение достигает $230^{\circ}C$ [4], что является причиной частичного затвердевания расплава. Во фронтальной части магматической колонны газы свободно удалялись из расплава, опережая его, при этом дезинтеграции вещества не происходило. Загустевшая фронтальная часть магматической колонны играла роль пробки, препятствовавшей выходу на поверхность кимберлитовых лав. Как правило, пробка была не чисто кимберлитовой, а кимберлит-ксенолитовой, так как при движении к поверхности загустеваящая фронтальная часть магматического потока оказывала большое давление на стенки подводящего канала и была способна отрывать и увлекать за собой большие глыбы вмещающих пород, размера которых хватало для закупорки подводящего канала (в таких случаях породы, заполняющие трубки, изобилуют "ядерными" автолитами с ксенолитовыми "затравками" в центральных частях).

На участках ниже фронтальной пробки, выделявшиеся газы из-за наличия фронтальной пробки создавали огромные давления, значительно превышающие литостатические, в результате чего происходил взрыв и образование воронкообразного расширения. Углы падения стенок таких воронок варьируют от 30° до 85° и зависят от глубины эпицентра взрыва, т. е. от глубины вскипания флюидных фракций, которая определяется для их содержания в магмах. Так, лампроиты характеризуются наименьшими углами падений стенок трубок [5] в результате того, что они содержат в 2-3 раза меньше воды и углекислоты, чем кимберлиты [6] и вскипание происходит на меньших глубинах, чем у кимберлитов. Наряду с количеством газовых фракций, несомненно, немалое значение на форму диатрем оказывают и вмещающие породы. В результате разнонаправленности взрыва (по закону давления в жидкостях и газах), его энергия расходовалась не только на выброс магматического материала и вмещающих по-

род, но и на остановку движущегося вверх магматического потока, который, обладая инерциальностью, создавал давления на вмещающие породы, при релаксации которых происходило внедрение силлов, даек и образование более мелких "дочерних" трубок (типичным примером такой обстановки является трубка № 3 Алакитского поля Якутской алмазонасной провинции (ЯАП)).

Во время взрыва происходила дезинтеграция холодных вмещающих пород и наиболее охлажденной части пробки. Часто энергия взрыва была настолько велика, что вмещающие породы дезинтегрировались до обломков пелитовой размерности. Этому также способствовали газы, проникающие в мельчайшие трещины вмещающих пород и усиливающие дезинтеграцию. Магматический же материал, не успев затвердеть и оставаясь вязким, распался на более крупные обломки, из которых продолжали выделяться газы, препятствующие их слипанию. Эти газы создавали мощные газовые потоки в дезинтегрированном материале, способствуя окатыванию ещё не затвердевшего материала (данный механизм аналогичен механизму образования "лемвинских конгломератов", описанному Л.В. Махлаевым и А.М. Пыстиным [7]).

Под воздействием вакуумной волны, следующей непосредственно за ударной волной, от стенок образованной воронки отрывались более крупные ксенолиты вмещающих пород, размер которых зависит от интенсивности трещиноватости и может достигать нескольких метров. Вся эта газово-обломочная смесь выбрасывалась в надповерхностное пространство, после чего происходило опускание обломочного материала вниз, в воронку. Опускание происходило не только под действием гравитации, но и благодаря следующему непосредственно за взрывом эффекту «контрэксплозии» или отражённой газовой волны, т.е. резкому движению вещества к эпицентру взрыва (нечто подобное кавитационному «схлопыванию» пузырей в жидкости или эффекту взрыва вакуумной бомбы). При «контрэксплозии» к эпицентру стремились не только продукты выброса, но и верхние части магматической колонны. При столкновении движущихся навстречу друг другу газово-обломочной смеси и магматической колонны происходило их взаимное проникновение друг в друга. Именно таким механизмом, на наш взгляд, объясняется возможность опускания ксенолитов на глубины 500 м и более от их первоначального залегания (ксенолиты ордовика в трубках ААП) и наличие в таких ксенолитах тонких трещин, заполненных кимберлитовым материалом, а также отсутствие чётких границ между породами магматической колонны и продуктами опускания газово-обломочной смеси.

При захвате 50% объёма ксенолитов вмещающих пород с такой же теплоёмкостью и первичной температурой 30°C, магматический материал охлаждался ещё на 300-350°C. Таким образом, при совмещении дегазационного охлаждения и охлаждения в результате захвата ксенолитов вмещающих

пород, общее снижение температуры кимберлитового материала могло достигать 580°C [4]. Этим объясняется хорошая сохранность алмазов и сопутствующих минералов-спутников, отсутствие средне-температурных минералов, а также, в подавляющем большинстве, отсутствие реакционных кайм в ксенолитах вмещающих пород и зон закалки во вмещающих диатремы породах. Наиболее мелкие застывшие распылённые магматические обломки (стекло), вступая в реакцию с оставшимися газами в условиях низких температур, полностью замещались серпентином (а позже и сапонитом), в дальнейшем играя роль цемента для автолитов, литокластов, кристаллокластов и ксенолитов. Так формировались породы первой фазы внедрения - туфобрекчии и ксенотуфобрекчии.

Широкое распространение в кимберлитовых брекчиях скрытокристаллической разности серпентина и сапонита указывает на массовую очень быструю его кристаллизацию в близкой по составу среде и поэтому подтверждает выводы о почти мгновенном сильном охлаждении кимберлитовых пород при взрыве и серпентинизации охлажденного стекла. Образование стекла при взрыве и последующая его серпентинизация и сапонитизация, вероятно, являются причиной массивной текстуры цемента в кимберлитовых породах (за исключением пород кратерной фации). На основании такой текстуры многими исследователями делается вывод о формировании кимберлитовых брекчий в результате цементации обломков расплавом. Этому противоречит обычно сильная дробленность вкрапленников в них, отсутствие типичных магматических структур в цементе и иногда различающееся его обломочное строение, значительное содержание ксенолитов осадочных пород в центральных частях трубок и ряд других данных [4].

В результате того, что часть материала попала в околотрубочное пространство, воронка заполнялась не полностью, а оставался кратер, который заполнялся в дальнейшем продуктами дезинтеграции и выветривания околотрубочного вала и вмещающих пород (о чём свидетельствуют повышенные значения Al_2O_3 , CaO и CO_2 в кратерных отложениях [8]), т.е. происходило формирование типичных горизонтальнослоистых пород кратерной фации. Мощность кратерных отложений может варьировать от нескольких до 300 и более метров (трубка Суксома, ААП) и зависит от глубины кратера. В глубоких кратерах (рис. 1А) образования кратерной фации могут иметь базальный горизонт – так называемый «ксенолитовый пояс» (трубка №3 Алакитского поля ЯАП, (рис. 1Б)), который представлен обломками стенок расположенных над кратером пород, вмещающих диатремы. Состав пород кратерной фации (туфы, туффиты и туфопесчаники) зависит не только от глубины кратера, но и от количества магматического материала, выброшенного в околотрубочное пространство. Время заполнения кратеров могло измеряться миллионами лет [8].

Энергия взрыва не всегда была настолько велика, чтобы останавливать поднимающийся вверх

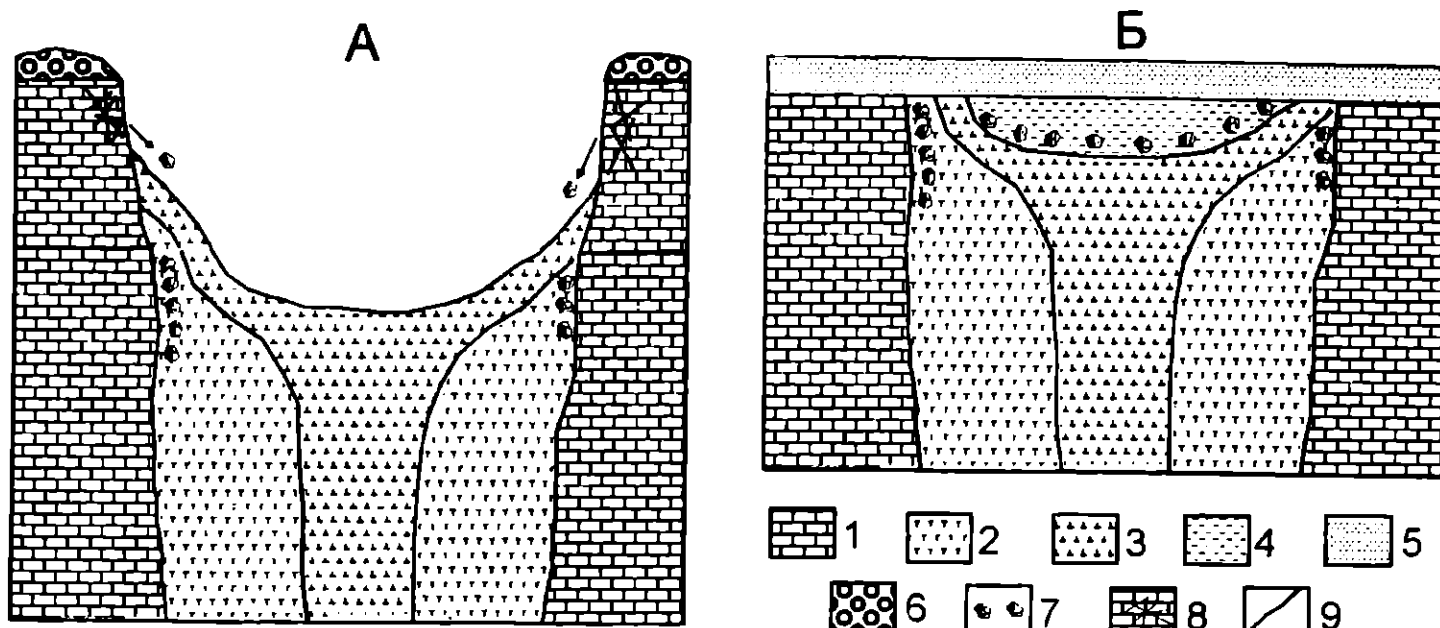


Рис. 1. Схематический разрез трубки № 3 Алакитского поля ЯАП после внедрения второй фазы (А) и современный срез (Б): 1 – вмещающие породы; 2 – породы первой фазы внедрения; 3 – породы второй фазы внедрения; 4 – породы кратерной фации; 5 – перекрывающие отложения; 6 – породы околотрубочного вала; 7 – ксенолиты вмещающих пород; 8 – зоны дробления; 9 – границы различных пород.

магматический поток. В таких случаях происходило заполнение воронки массивной порфировой породой (кимберлитом, лампроитом и т. д.) без образования кратерного углубления. Это подтверждается отсутствием кратерных образований во всех однофазных трубках ААП, сложенных порфировым кимберлитом.

Что же касается двухфазности трубок (изредка трёх- и даже четырёхфазности (трубка Мвадуи в Танзании) [8]), то внедрение последующих фаз, происходившее в результате продолжающихся условий растяжения, осуществлялось по центральным частям диаметра (“трубка в трубке”) [9], подобно формированию современных “даек в дайках” срединно-океанических хребтов, так как центральные части, в связи с низкой теплопроводностью кимберлитовых пород [10], оставались наиболее горячими. Механизм формирования пород последующих фаз аналогичен механизму образования пород первой фазы. Главное отличие заключается в том, что во вторую фазу внедрения эксплозивной деструкции подвергаются не вмещающие породы, а породы первой фазы внедрения, в результате чего содержание ксеногенного материала вмещающих пород в породах второй фазы сводится до минимума (или до почти полного исчезновения, если первая фаза внедрения представлена порфировой породой, что нехарактерно для ААП, но вполне обычно для ЯАП), а содержание мантийных ксенолитов увеличивается (по сравнению с первой фазой) [11]. Породы второй фазы внедрения в подавляющем большинстве представлены автолитовыми брекчиями с перекрывающими их породами кратерной фации (исключая случаи глубокого эрозионного среза). В трубках взрыва ААП кратерные образования второй фазы внедрения представлены туфами и туффитами (в большинстве случаев) с содержанием магматического материала от 10 до 80% и лишь в верхних частях – туфопесчаниками с содержанием магматического мате-

риала <10%. В отличие от них, кратерные образования первой фазы внедрения в большинстве случаев представлены лишь туфопесчаниками.

Относительно “слепых” трубок (типичным примером является трубка Одинцова в Далдыно-Алакитском районе ЯАП), следует заметить, что их образование могло происходить в результате закупорки магмовыводящего канала не кимберлитовой пробкой, а ксенолитовой; при этом газы, отделяющиеся от магматического потока и опережающие его, двигались к поверхности с большими скоростями, проникая также и в трещины вмещающих пород. При прохождении участков повышенной трещиноватости, поднимающиеся газы могли отрывать и увлекать за собой не только мелкие ксенолиты, но и крупные глыбы, размера которых хватало для закупорки магмовыводящего канала. В результате этого, эпицентр взрыва находился не внутри кимберлитового материала, как во всех нормальных трубках, а над ним. Вмещающие породы, располагающиеся выше взрыва, брекчировались ударной волной, но не выбрасывались в воздух из-за наличия межблочного пространства, незакупориваемого вязким кимберлитовым материалом и, следовательно, позволяющего газам прорываться к поверхности, удерживая обломки в подвешенном состоянии. Магматический поток, отброшенный взрывным импульсом назад, уже не имел своей первоначальной силы и, подперев брекчированные породы и заполнив межблочное пространство нижней части брекчии кимберлитовым материалом, останавливался. Остывание таких образований происходило гораздо медленнее, чем обычных трубок, в результате чего вышележащие брекчированные породы подвергались гидротермальной проработке и цементации (развитие пелитоморфного мелкозернистого доломита гидротермально-метасоматической природы в “карбонатной шапке” трубки Одинцова [12]).

Во всех алмазонасных провинциях наблюдается следующая закономерность: трубки одного

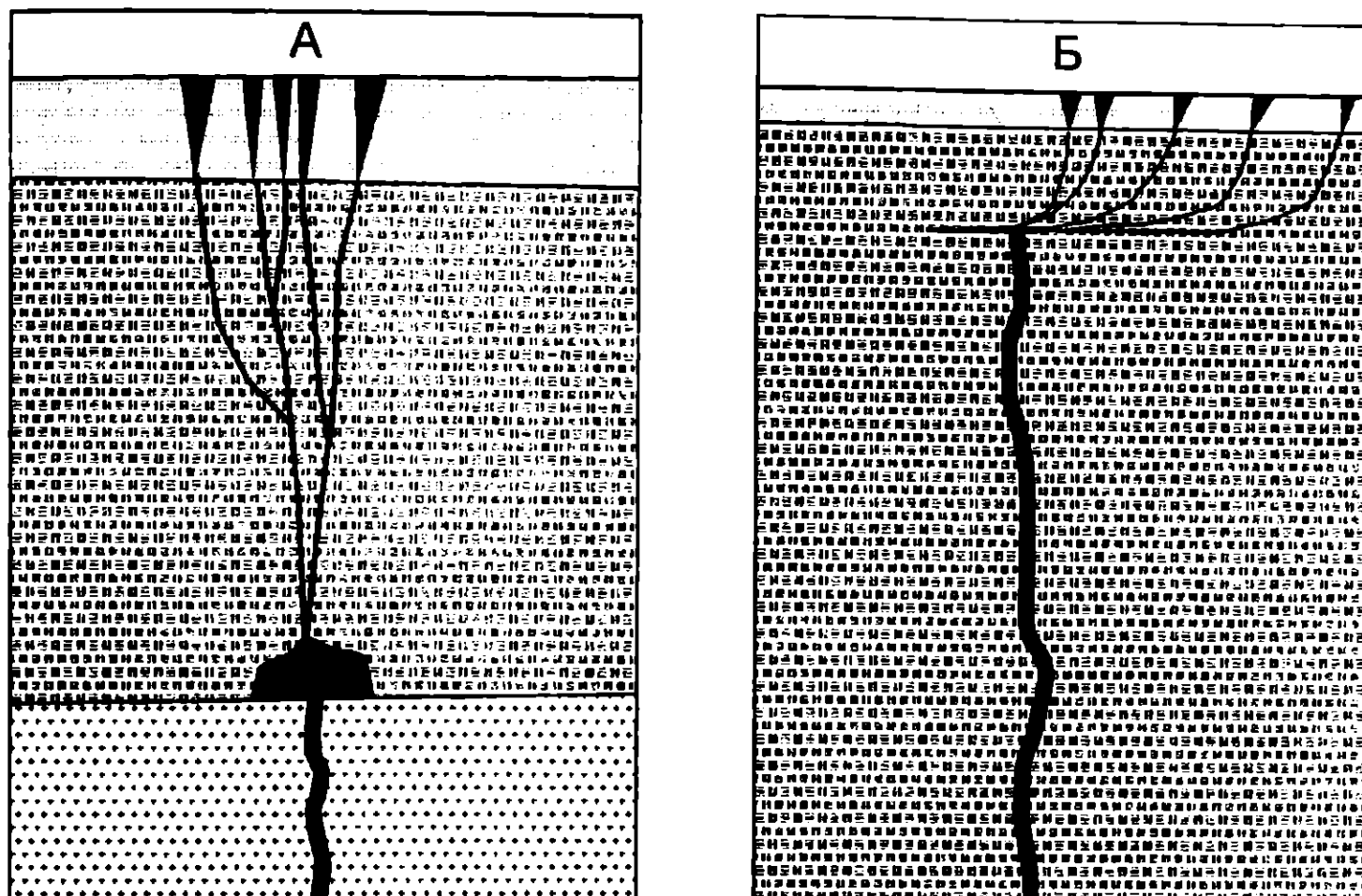


Рис. 2. Схема подъёма кимберлитовых магм к поверхности: 1 – литосферная мантия; 2 – континентальная кора; 3 – осадочный чехол; 4 – подводящий канал; 5 – трубки взрыва; 6 – литрические разломы; 7 – промежуточный очаг.

кимберлитового поля сходны между собой по вещественному составу и строению и значительно отличаются от таковых (в свою очередь, сходных друг с другом) из других полей. Типичным примером такой закономерности является ААП, включающая в себя пять кимберлитовых полей (Золотицкое, Верхотинское, Кепинское, Ижмозёрское, Нёнокское) и Сояно-Пинежский базальтовый комплекс. Учитывая то, что расстояния между трубками внутри отдельных полей довольно незначительны (в Золотицком поле 0,1-2,5 км; в Кепинском 2-8 км [13]), а кимберлитовые и родственные им магмы поднимаются с глубин 130-220 км [6], трудно предположить нахождение на таких глубинах мелких магматических очагов, расположенных друг от друга на расстоянии 0,1-8 км и последующее проникновение их на поверхность, минуя пересечения подводящих каналов. Если бы такие мелкие очаги и существовали, то их объёма вряд ли бы хватало для достижения поверхности и заполнения диатрем. Однако остаются труднообъяснимыми небольшие различия в составе трубок одного и того же поля. Разной степенью засорённости ксенолитами вмещающих пород можно объяснить лишь различия в содержании SiO_2 (в ЯАП – в содержании карбонатов), но никак не разный габитус алмазов, содержание и соотношение REE и минералов-спутников. Напрашивается вывод о том,

что трубки каждого поля происходят из единого магматического очага.

Такие магматические очаги образовывались в результате плавления осадков, затагивающихся в зоны протерозойской субдукции и консервировались под континентальной литосферой. В первое время такие очаги были склонны к примитивной дифференциации, а в последствии существовали в виде очагов, несклонных к дифференциации, с промежуточным “консервативным” состоянием субстрата, способным в условиях декомпрессии быстро переходить в подвижный, маловязкий расплав и проникать на большие расстояния в коровых условиях [14].

Можно предположить существование “промежуточных” очагов, которые образовывались в результате кратковременной остановки поднимающейся магмы на промежуточных уровнях континентальной литосферы (например, на границе мантии и коры) и, находясь в жидком состоянии, были способны дифференцироваться (рис. 2А). Но время существования таких промежуточных очагов должно быть очень незначительным, иначе все алмазы “стограла” бы, находясь в условиях пониженных давлений и высоких температур в присутствии агрессивного флюида. В принципе, это увязывается с очень низкой степенью дифференциации и, возможно,

подтверждается широким распространением округлых форм растворения, каналов травления и др. в кристаллах алмазов ААП класса +0,5 мм. На первый взгляд, сомневаться в состоятельности данного предположения заставляет то, что в ЯАП в трубках одного поля, имеющих различия в составе, содержатся кристаллы алмазов, не несущие на себе никаких следов растворения. Существование таких кристаллов (исключительно октаэдрического габитуса), возможно, контролируется процессом перехода графита в алмаз в момент взрыва, когда создаются большие давления. Наличие графита объясняется фазовым переходом алмаза в графит при кратковременном нахождении в условиях низких давлений и высоких температур в промежуточном очаге. Такой механизм может объяснять одновременное сосуществование в трубках ААП мелких кристаллов класса -0,5 мм с исключительно октаэдрическими формами роста и более крупных кристаллов класса + 0,5 мм с округлыми, кубическими и додекаэдрическими формами растворения.

Наиболее правдоподобным выглядит предположение о существовании изначальной вертикальной неоднородности очагов, законсервированных под континентальной литосферой. Эта неоднородность состава могла возникать во время образования магматических очагов в результате изменения во времени состава поднимающихся от субдуцирующей плиты лёгких фракций переплавленных железистых осадков, затянутых в зону субдукции. Изменение состава этих фракций могло происходить в результате двух причин: из-за латерального изменения состава затягиваемых в зону субдукции осадков, либо из-за изменения во времени температурного режима в зоне плавления осадков, что, в свою очередь, влечёт за собой изменения в составе выплавляемого материала. Вероятно, могли иметь место и оба случая одновременно. В результате образовывались очаги с верхними частями, более обогащёнными REE и флюидами, чем нижние части. При возникновении условий растяжения и перехода магматического очага в результате декомпрессии в маловязкий расплав к поверхности устремлялись сначала верхние части очагов, а потом средние и нижние.

В приповерхностных условиях происходило формирование трубок взрыва, механизм которого описан выше. При образовании первой трубки при взрыве магматический поток останавливался не полностью, а только верхняя его часть; нижняя часть, продолжая по инерции двигаться вверх, находила новый путь для прорыва на поверхность – так образовывалась вторая трубка и продолжалось это до тех пор, пока магматический поток не использовал все возможные выходы к поверхности, которыми являются разрывные нарушения, пересекающиеся с подводющим каналом. Далее, при продолжающихся условиях растяжения, возникал второй импульс магматизма – из того же очага маловязкий расплав устремлялся по уже проложенному пути, и происходило формирование пород второй фазы вне-

дрения, аналогичное формированию пород первой фазы. Но не всегда расплав использовал для прорыва к поверхности подводные каналы, использованные в первую фазу внедрения. В этом случае мы имеем однофазные трубки первого импульса проявления магматизма (трубка Апрельская, Ижмозёрское поле ААП). Иногда магматический расплав мог находить каналы, не использованные при первом импульсе и раскрывшиеся только к проявлению второго импульса в результате продолжающихся условий растяжения. В этом случае мы имеем однофазные трубки второго импульса проявления магматизма (трубка Весенняя, Ижмозёрское поле ААП). Как правило, наиболее сильно отличаются друг от друга по составу однофазные трубки первого и второго импульсов. Трубки первого импульса более обогащены REE и флюидами и более алмазоносны, имеют кратерные образования и сложены туфо- и ксенотуфобрекчиями, в отличие от трубок второго импульса, которые убого- и неалмазоносны (только в ААП), не имеют кратерных образований и сложены массивной порфировой породой лавового облика.

Что же касается кимберлитовых полей, трубки которых образуют цепочки тел (Золотицкое и Ижмозёрское поля ААП), то их образование можно предположить в результате пересечения подводящего канала с листрическими разломами (рис. 2Б), развитие которых угасло в зачаточной стадии рифтогенеза, проявленного в более ранние эпохи. Так, например, размещение трубок взрыва Золотицкого и Ижмозёрского полей ААП контролируется разломами, образованными при рифейском рифтогенезе.

Таким образом, идея образования “магматических пробок”, приводящих к взрывным эффектам во время образования диатрем кимберлитов и родственных им пород объясняет возникновение взрывных эффектов, воронкообразного расширения трубок, а также различия особенностей пород разных фаз внедрения одних и тех же трубок; а идея вертикальной неоднородности алмазопроизводящих магматических очагов объясняет сходство в составе и строении трубок одного поля и различия в составе и строении трубок различных полей.

Работа выполнена при поддержке грантов УР. 09. 01. 032, РФФИ 01-05-64281 и ФЦП “Интеграция” № И-0865.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доусон Дж. Кимберлиты и ксенолиты в них. -М., 1993. -300 с.
2. Джейкс А., Луис Дж., Смит К. Кимберлиты и лампроиты Западной Австралии. -М., 1989. -430 с.
3. Милашев В.А. Трубки взрыва. -М., 1984. -268 с.
4. Шкодзинский В.С., Зольников Г.В. Декомпрессионное затвердевание кимберлитового расплава и генезис кимберлитовых диатрем и брекчий // Геол. и геофизика. -1995. -№ 12. -С. 99-104.
5. Каминский Ф.В. Новые данные по алмазоносности некимберлитовых изверженных пород // Изв. вузов. Геол. и разведка. -1989. -№ 3. -С. 32-40.

6. Сорохтин О.Г., Митрофанов Ф.П., Сорохтин Н.О. Происхождение алмазов и перспективы алмазоносности восточной части Балтийского щита. - Апатиты, 1996. - 145 с.
7. Махлаев Л.В., Пыстин А.М. "Лемвинские конгломераты" приполярного Урала и их эруптивное происхождение // Изв. АН СССР. Сер. геологическая. - 1990. - № 11. - С. 114-126.
8. Харьков А.Д. Особенности строения и состава слабо эродированных кимберлитовых трубок // Изв. АН СССР. Сер. геологическая. - 1990. - № 1. - С. 78-90.
9. Сарычев И.К. Особенности геологического строения и процесса формирования одной из кимберлитовых трубок Алакинского поля // Геол. и геофизика. - 1988. - № 11. - С. 98-105.
10. Игнаткин Е.И., Оникиенко С.К., Афанасьева М.А., Шишков А.Ю. Теплопроводность кимберлитов // Изв. вузов. Геол. и разведка. - 1989. - № 2. - С. 145-147.
11. Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Богатых М.М., Романов Н.Н. Модель кимберлитовой трубки Якутской алмазо 23-29.
12. Крючков А.И., Красинец С.С., Лелюх М.И. и др. Новый тип кимберлитовых диатрем в Далдыно-Алакинском районе // Сов. геология. - 1990. - № 10. - С. 32-37.
13. Богатиков О.А., Гаранин В.К., Кононова В.А. и др. Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия). - М., 2000. - 524 с.
14. Ерёменко А.В., Ненахов В.М. Геология и геодинамическая модель формирования грубок взрыва Архангельской алмазоносной провинции // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геологическая. - 2002. - № 1. - С. 36-42.

УДК 567.5

ИСКОПАЕМАЯ ЧЕТВЕРТИЧНАЯ ИХТИОФАУНА ИЗ МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ "ПРЕОБРАЖЕНЬЕ" (ТАМБОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

М.С. Маркин

Воронежский государственный университет

На сегодняшний день позднекайнозойские костистые рыбы изучены крайне слабо. В последние десятилетия работы в этом направлении не велись, не смотря на то, что материал является перспективным источником информации по целому ряду вопросов, таких как восстановление условий климата прошлого, характера гидрографической сети исследуемой местности, гидрологического режима водоемов (иногда вплоть до определения прозрачности вод), а так же предоставляет возможность восстанавливать прошлые ареалы рыб [1]. В некоторых случаях остатки рыб позволяют уточнить стратиграфию четвертичных отложений.

В процессе работ по ГДП - 200 в 2001 - 2002 годах, автором были собраны остатки рыб из четвертичных озерных отложений у с. Преображенье Тамбовской области. Толща озерных мергелей датируется нижним неоплейстоценом, по данным исследования фауны мелких млекопитающих относится к Тираспольскому фаунистическому комплексу (мучкапский горизонт).

Местонахождение «Преображенье» располагается в правом борту долины реки Нару-Тамбов, у восточной окраины колхозного сада, в 0,2 км запад

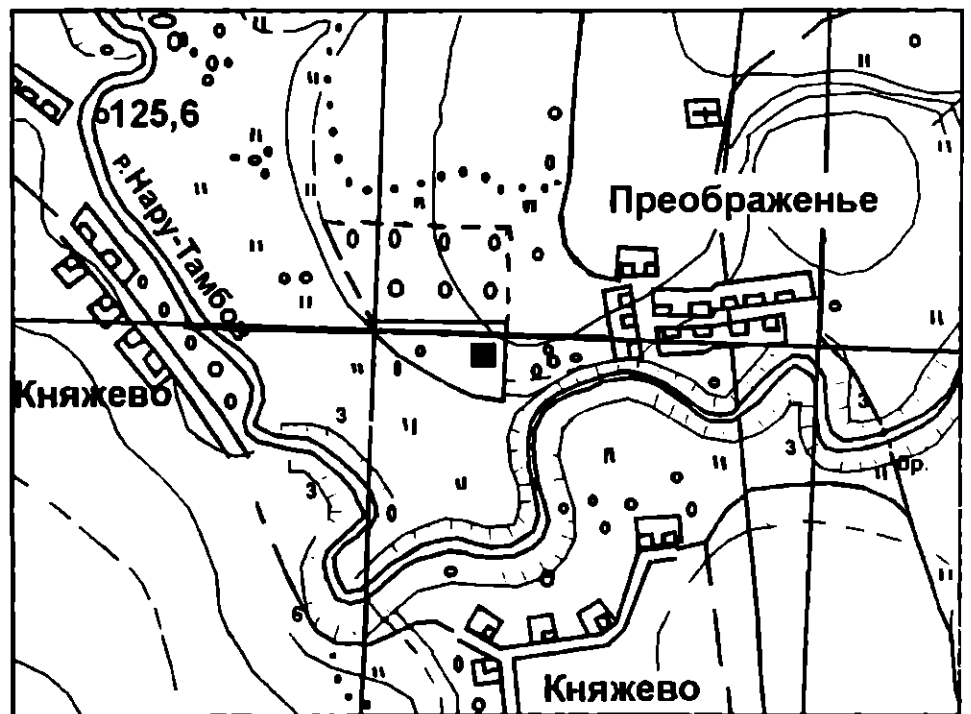


Рис. 1. Район расположения местонахождения (обозначено знаком ■).

нее окраины с. Преображенье Котовского района Тамбовской области (рис. 1).

Ниже приведен геологический разрез толщи озерных образований, в которой встречены остатки рыб.

Слой 1. Современный почвенно-растительный слой. Мощность слоя 0,5 м.