

УДК 550.46:551.49

ОБ УЧАСТИИ ЭКЗОГЕННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ФОРМИРОВАНИИ КИМБЕРЛИТОВ

© 2004 г. А. И. Малов

Представлено академиком В.И. Осиповым 02.12.2003 г.

Поступило 23.12.2003 г.

Предположение об участии экзогенных подземных вод в формировании состава кимберлитовых пород Якутии и Южной Африки высказывают многие исследователи [1, 2, 6, 7 и др.]. Для обоснования этого участия приводят данные об изотопном составе минералов кимберлитовых пород.

Для Мезенской синеклизы можно указать изотопный состав углерода и кислорода в карбонатах силла, внедрившегося по трещине гидроразрыва в аргиллиты мезенской свиты венда. Породы силла представлены порфировым кимберлитом, в котором вкрапленники-псевдоморфозы по оливину замещены серпентином и кальцитом. Полученные значения укладываются в интервале $(-3.7) - (-10.1)\text{‰}\delta^{13}\text{C}$ (PDB) и $21.9 - 24.4\text{‰}\delta^{18}\text{O}$ (SWOW) [4].

Как известно, для “первичных” карбонатов характерны интервалы значений $\delta^{13}\text{C}$ от -5 до -7‰ и $\delta^{18}\text{O}$ от 5.6 до 8.2‰ , а утяжеление кислорода вызвано взаимодействием кимберлита с подземными водами экзогенного происхождения [1, 2].

Однако количественные оценки соотношения ювенильных и экзогенных составляющих в указанной литературе отсутствуют. Вместе с тем такие оценки могли бы прояснить механизм формирования трубок взрыва, а значит, и условия формирования месторождений алмазов.

В данной работе предпринята попытка такой оценки.

В 1980–1983 гг. было открыто месторождение алмазов им. М.В. Ломоносова. Оно расположено на Восточно-Европейской платформе, в зоне сочленения Балтийского щита и Мезенской синеклизы. Наиболее характерной его особенностью, как и других кимберлитовых трубок и силлов этого региона, является интенсивная измененность пород. В первую очередь это проявляется в их сапонитизации [3]. Для сравнения можно указать, что в кимберлитах Якутии преобладает серпентин, а в Южной Африке – оливин.

Оливин в породах месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова установлен только в порфировых кимберлитах глубоких горизонтов (840–1065 м); серпентин – в порфировых кимберлитах и автолитовой брекчии; сапонит – во всех типах пород. В автолитовых брекчиях он преобладает до глубин порядка 150–300 м, встречается в основном до 450 м; в ксенотуфобрекчиях прослежен более чем на 700 м.

Кимберлитовые трубки, имеющие в верхней части линейные размеры от 0.4 до 1 км, сложены в основном ксенотуфобрекчиями и автолитовыми брекчиями. Верхние кратерные части некоторых трубок выполнены осадочно-туфогенными образованиями. Коэффициент фильтрации последних порядка 1 м/сут. Водопроницаемость ксенотуфобрекчии в среднем $1.5 \text{ м}^2/\text{сут}$ (коэффициент фильтрации 10^{-2} м/сут); она определяется главным образом содержанием в брекчии ксенолитов песчаников осадочного чехла, достигающим 30% (в среднем 14%); кроме того, для ксенотуфобрекчии характерна система редких, тонких и невыдержанных трещин. Автолитовые брекчии практически водонепроницаемы (коэффициент фильтрации $n \cdot 10^{-4}$ м/сут).

Вещающими породами по отношению к кимберлитовым трубкам являются песчаники, алевролиты и аргиллиты венда: падунской свиты – мощностью 120–200 м, мезенской – 250 м, устьпинежской – 500 м и рифея – от нуля до 4.5 км (рис. 1).

Падунская свита (Vpd) состоит в основном из мелкозернистых и тонкозернистых песчаников (60–80%) и алевролитов (20%); они разделяются прослоями аргиллитов. По данным расходомерии в разрезе свиты выделяются 5–8 прослоев мощностью 1–7 м, через которые и происходит фильтрация. Суммарная мощность фильтрационно-проницаемых слоев в толще падунской свиты составляет порядка 20%; распределены эти слои примерно равномерно по разрезу. Водопроницаемость свиты $210 \text{ м}^2/\text{сут}$; среднее значение коэффициента фильтрации 1–1.5 м/сут, пористости 23%.

Институт экологических проблем Севера
Уральского отделения Российской Академии наук,
Архангельск

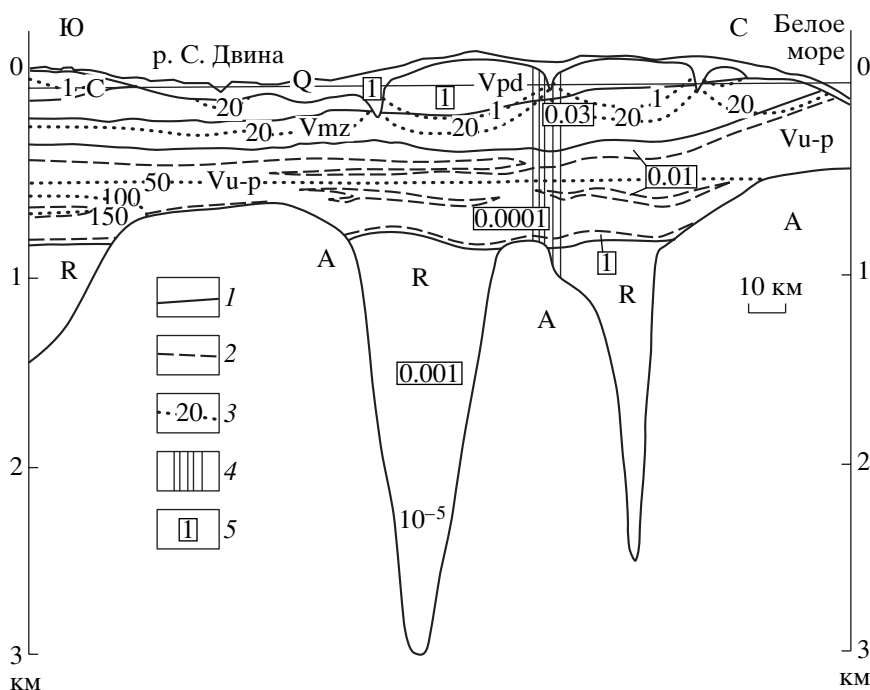


Рис. 1. Гидрогеологический разрез через месторождение алмазов им. М.В. Ломоносова (Золотицкое рудное поле): 1 – геологические границы, 2 – границы опесчаненных слоев в усть-пинежской свите венда, 3 – изолинии минерализации, г/л, 4 – трубки взрыва месторождения им. М.В. Ломоносова, 5 – коэффициент фильтрации отложений, м/сут.

Мезенская свита (Vmz) характеризуется более тонким составом водовмещающих пород: 70–80% алевролитов и аргиллитов. Ее водопроницаемость 8 м²/сут; коэффициент фильтрации 10⁻² м/сут, пористость 19%.

Усть-пинежская свита (Vu-p) сложена в основном аргиллитами и алевролитами при практически полном отсутствии песчаников. Наиболее опесчанен верхний интервал мощностью порядка 100 м: до 20–30% песчаников; его водопроницаемость 1.4 м²/сут, коэффициент фильтрации 10⁻² м/сут, пористость 15%. Ниже отложения свиты практически водоупорны: коэффициент фильтрации $n \cdot 10^{-4}$ м/сут, пористость 15%. В подошве свиты выделяется базальный горизонт, сложенный песчаниками и гравелитами (тамицкие слои) средней мощностью 25 м; он характеризуется сравнительно высокими фильтрационными свойствами: водопроницаемость 25 м²/сут, коэффициент фильтрации 1 м/сут, пористость 20%.

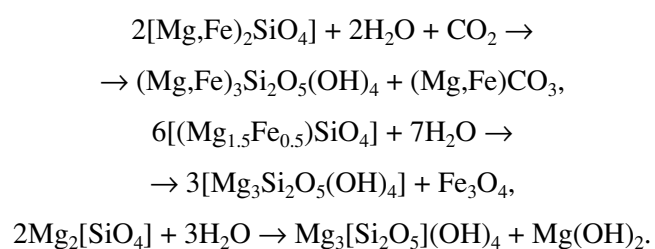
Отложения рифея (R) в районе месторождения представлены аргиллитами и алевролитами. Коэффициент фильтрации растет вверх по разрезу от 10⁻⁵ до 10⁻³ м/сут, пористость – от 4 до 7%.

К моменту внедрения в породы осадочного чехла расплав в основном содержал неизменный оливин. По данным С.И. Киселя, массивный кимберлит, встреченный в интервале глубин 840–1065 м в трубке Пионерская, содержит серпентин только в порфириновых вкрапленниках и прожил-

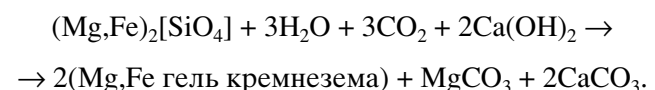
ково-гнездовых образованиях (~15%); в основной же массе он отсутствует. В автолитовых брекчиях глубоких горизонтов содержание серпентина резко повышается: до 100% во вкрапленниках и 30–80% в основной массе.

Таким образом, при соприкосновении расплава с водой песчаных горизонтов осадочного чехла практически весь оливин автолитовых брекчий был серпентинизирован.

Образование серпентина происходило по реакциям [3]:



По [2] первым промежуточным продуктом серпентинизации оливина в кимберлитах Якутии является Mg–Fe аморфный гель кремнезема с примесями магнезита и кальцита:



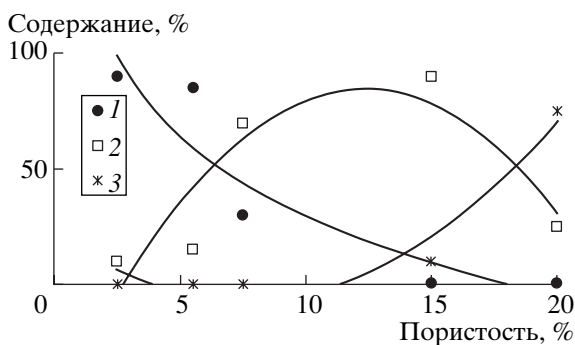
В условиях Мезенской синеклизы, видимо, кальцит играет меньшую роль.

Таблица 1. Зависимость измененности оливина кимберлитовых пород от фильтрационных свойств вмещающих осадочных пород

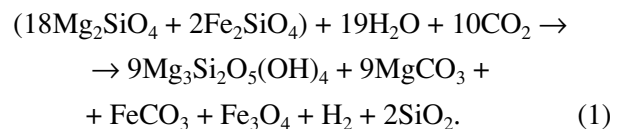
Регион	Преобладающие породы чехла, по [1, 3, 5]	Пористость, %	Коэффициент фильтрации, м/сутки	Содержание минералов, % (для Южной Африки и Якутии – по [2])		
				оливин	серпентин	сапонит
Южная Африка	Кварциты, гнейсы	1	10^{-7}	90	10	–
	Глинистые сланцы	до 4	10^{-6}			
Якутия	Известняки					
	доломиты пористые	5	10^{-2}	30	70	–
	трещиноватые	10	1			
Мезенская синеклиза	Аргиллиты R	4–7	10^{-4}	85	15	–
	Аргиллиты V _{up}	15	10^{-4}	–	90	10
	Песчаники V	20	$1-10^{-2}$	–	25	75

В дальнейшем аморфный гель кремнезема постепенно раскристаллизовывается; при этом часть кремния и карбонаты выносятся из системы.

Источником CO₂ для образования карбонатов в процессе серпентинизации служит CO₂ магматического происхождения; CO₂, образующаяся при контактовом метаморфизме, в частности – в отложениях рифея, в оменской и няфтинской свитах которого присутствуют прослои карбонатов. Карбонаты поступали в трубки взрыва и в виде ксенолитов перекрывающих пород ордовикского возраста. Большая часть CO₂ выделялась при разложении органического вещества, содержание которого в рифейских и особенно вендских (устьпинезская свита) отложениях было довольно значительным. Наконец, при эксплозивном формировании трубок взрыва в период расцвета наземной девонской растительности громадные количества органики были захоронены непосредственно в диатремах и подверглись разложению в процессе образования кимберлитовых пород [3].

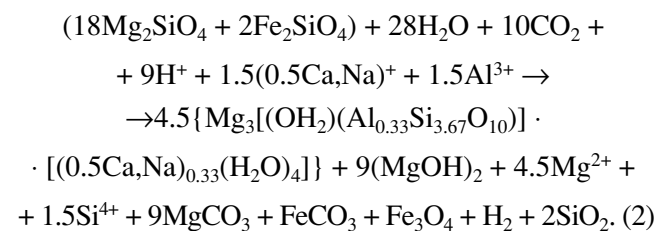
**Рис. 2.** Зависимость измененности оливина кимберлитовых пород от пористости вмещающих осадочных пород: 1 – оливин, 2 – серпентин, 3 – сапонит.

При содержании FeO в оливине трубок взрыва месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова до 10% процесс серпентинизации можно представить в виде:



При этом поглощается 11.6 мас. %, или 46.5 об. % воды, 15 мас. % CO₂. Объем серпентина составляет 133% от объема исходного оливина.

Ввиду избытка воды в системе и присутствия Ca, Na и Al во вмещающих породах происходит и образование сапонита уже на этой пневматолито-гидротермально-метасоматической стадии. Сапонитизация осуществляется за счет привноса кальция, натрия и алюминия из вмещающих пород и подземных вод экзогенного происхождения:



Для этого процесса необходимо уже 17.8 мас. %, или 71 об. % воды. Образующийся сапонит составляет 70.2% от массы исходного оливина, его объем составляет 129.4% от объема исходного оливина.

При серпентинизации оливина по (1) содержание MgO снижается с 50 до 37.5%; при сапонитизации по (2) – до 19%. Фактическое содержание MgO в оливине месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова – 50.8%, в серпентине – 32.4%, в сапоните – 24.3%, что близко к расчетным значениям.

В табл. 1 и на рис. 2 представлены данные о степени измененности оливина в кимберлитовых породах месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова в зависимости от фильтрационных и емкостных свойств вмещающих трубку осадочных пород. Для сравнения приведены данные по аналогичным образованиям Южной Африки и Якутии.

Графики, приведенные на рис. 2, показывают очевидную связь состава кимберлитовых пород всех регионов и фильтрационных свойств вмещающих осадочных пород. В породах с пористостью $n = 6\text{--}18\%$ преобладает серпентинизация, а в породах с $n > 18\%$ – сапонитизация оливина. Для этих процессов достаточно поглощения воды, содержащейся ~ в 2.5-кратном по отношению к объему трубки объеме осадочных пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доусон Дж. Кимберлиты и ксенолиты в них. М.: Мир, 1983. 316 с.
2. Зинчук Н.Н. Постмагматические минералы кимберлитов. М.: Недра, 2000. 538 с.
3. Малов А.И. // Геоэкология. 2002. № 1. С. 18–27.
4. Соболев В.К. В сб.: Геология полезных ископаемых севера Европейской части СССР. Архангельск: АПГО, 1991. С. 68–100.
5. Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Зуев В.М. История алмаза. М.: Недра, 1997. 416 с.
6. Харьков А.Д., Зуенко В.В., Зинчук Н.Н. Петрохимия кимберлитов. М.: Недра, 1991. 304 с.
7. Mitchell K.P. Kimberlites: Mineralogy, Geochemistry, and Petrology. N.-Y.: Plenum Press, 1986. 442 p.