

12. Макарихин В.В., Медведев П.В., Лавров Б.С., Сацук Ю.И. Палеонтологическая характеристика разреза туломозерской свиты в Онежской структуре по материалам опорного бурения // Вопросы геологии, магматизма и метаморфизма докембрия Карелии. Петрозаводск: ИГ Кар НЦ РАН, 1994. С. 9–14.
13. Медведев П.В. Раннепротерозойские окаменелости заповедника «Кивач» // Труды Карельского научного центра РАН. 2006. Вып. 10. С. 90–94.
14. Медведев П.В., Макарихин В.В. Опыт использования фитогенных сообществ при геокартировании нижнепротерозойских толщ // Новые идеи в науках о Земле. Тез. докл. М.: 2001. Т. 1. С. 169.
15. Медведев П.В., Макарихин В.В. Фитогенные постройки и их место в поле информации о биосфере. Эволюция жизни на Земле. Материалы III Междунар. симп. 1-3 нояб. 2005 г. Томск: Томский ун-т, 2005. С. 405–406.
16. Раабен М.Е. Микростроматиты – характерный элемент нижнепротерозойского строматолитового комплекса // ДАН СССР. 1980. Т. 250. № 3. С. 734–737.
17. Раабен М.Е. Министроматолиты протерозоя и архея: таксономический состав последовательных комплексов // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2005. Т. 13. № 4. С. 35–48.
18. Раабен М.Е. Размерность столбчатых строматолитов как результат эволюции строматолитовых экосистем // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2006. Т. 14. № 2. С. 52–66.
19. Рябинин В.Н. Органические остатки в карбонатных породах южной Карелии // Материалы по геол. и пол. иск. КФССР, Ленинградской и Мурманской обл. 1941. № 4. С. 8–21.
20. Сацук Ю.И., Макарихин В.В., Медведев П.В. Геология ятулия Онего-Сегозерского водораздела. Л.: Наука, 1988, 96 с.
21. Сацук Ю.И., Макарихин В.В., Медведев П.В. Ятулийский надгоризонт // Проблемы стратиграфии нижнего протерозоя Карелии. Петрозаводск: ИГ Кар НЦ РАН, 1989. С. 67–105.
22. Семихатов М.А., Раабен М.Е. Динамика глобального разнообразия строматолитов протерозоя // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1994. Т. 2. № 6. С. 10–32.
23. Слодкевич В.С., Соколов В.А., Бутин Р.В. Протерозойские водорослевые биогермы на Южном Оленем острове в Карелии // ДАН СССР. 1960. Т. 134. № 2. С. 435–438.
24. Соколов В.А. (ред.) Геология Карелии. Л. Наука, 1987, 231 с.
25. Юдович Я.Э., Макарихин В.В., Медведев П.В., Суханов Н.В. Изотопные аномалии углерода в карбонатах карельского комплекса // Геохимия. 1990. № 7. С. 972–978.
26. Awramik S.M., Sprinkle J. Proterozoic stromatolites: the first marine evolutionary biota // Historical Biology. 1999. V. 13. P. 241–253.
27. Kononova G.M., Makarikhin V.V., Medvedev P.V. Proposing classification of stromatolite buildups // Stromatolite Newsletter. 1993. N 16. P. 34–37.
28. Makarikhin V.V. Lower Precambrian stromatolite association of Karelia // Early Organic Evolution. 1992. Springer-Verlag, Berlin. P. 463–467.
29. Makarikhin V.V. Tape sections of major Precambrian strata: the most significant geological heritage in Russian Karelia // ProGeo'97 in Estonia. Proceedings. 1997. P. 35–38.
30. Medvedev P.V., Bekker A.J., Karhy J.A., Kortelainen N. Testing the biostratigraphic potential of Early Paleoproterozoic microdigitate stromatolites // Revista Espanola de Micropaleontologia. 2005. V. 37. N 1. P. 41–56.
31. Melezhik V.A., Fallick A.E., Makarikhin V.V., Lyubtsov V.V. Links between Palaeoproterozoic palaeogeography and rise and decline of stromatolites: Fennoscandian Shield // Prec. Research. 1997. N 82. P. 311–348.
32. Melezhik V.A., Fallick A.E., Medvedev P.V., Makarikhin V.V. Extrim ¹³C carb enrichment in ca. 2.0 Ga magnesite-stromatolite-dolomite-red bed's association in a global environment. Earth-Sci. Rev. 1999. N 48. P. 71–120.
33. Tikhomirova M., Makarikhin V.V. Possible reasons for the $\delta^{13}\text{C}$ anomaly of lower Proterozoic sedimentary carbonates // Terra Nova. 1993. N 5. P. 244–248.

Алмазоносные кимберлиты Мезенской синеклизы

Малов А.И.

Институт экологических проблем Севера УрО РАН, г. Архангельск, e-mail: malovai@yandex.ru

Для трубок Золотицкого поля, в состав которого входит месторождение алмазов им.М.В.Ломоносова, характерно расположение в виде цепочки длиной 14 км со средним расстоянием между трубками 1.5 км; т.е. можно предполагать приуроченность трубок к одной системе трещин.

По этой системе происходил подъем «сухих» магм с минимальным содержанием восстановленных флюидов. Мощность трещин – первые метры, ширина – порядка 14 км. На уровне осадочного чехла происходило преобразование даечной формы внедрения в цилиндрическую (в диатрему).

Очевидно, что процесс формирования диатремы начинается с образования вертикальной трещины «гидроразрыва» («газоразрыва») в осадочном чехле.

Отделение «ювенильных» летучих вблизи границы фундамента с осадочным чехлом могло привести к образованию вертикальной трещины в базальном горизонте песчаников и только «наметить» ее в вышележащей толще аргиллитов. Основной объем этих летучих пошел на образование горизонтальной трещины в кровле базального горизонта песчаников.

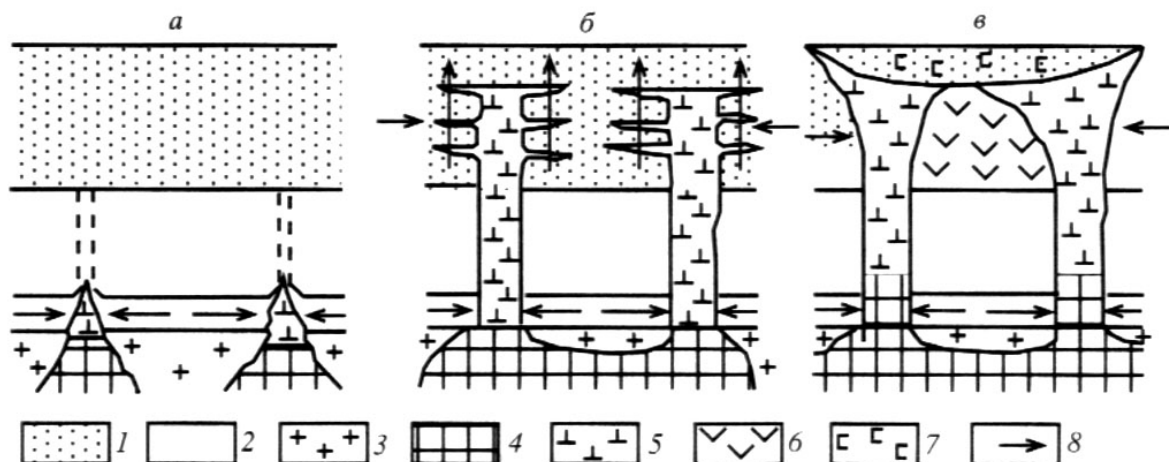


Рис. 1. Схема формирования трубки Пионерская:

1 – песчаник; 2 – аргиллит; 3 – гранит; 4 – массивный кимберлит; 5 – автолитовая брекчия; 6 – ксенотуфобрекчия; 7 – туфогенно-осадочные образования; 8 – основные направления давления пара

Вертикальная трещина в базальном горизонте была, по всей видимости, «локальной», то есть сопоставимой по ширине с диаметром будущей трубки, а не с шириной системы подводящих трещин в кристаллическом фундаменте. Это обуславливалось неравномерным характером продвижения расплава по длине подводящего канала: максимальная скорость (и температура) была в центре, снижаясь к периферии. То есть, процесс внедрения «ювенильных» летучих в осадочный чехол начинался с центральной части Золотицкого рудного поля – с участка расположения трубки Пионерской.

Сюда же, вслед за газовой составляющей, произошло и внедрение магматического расплава. Расплав внедрился в виде двух языков, давших начало корневой зоне трубки Пионерской (рис.1,а). Размеры даек, образовавшихся в пределах базального горизонта песчаников, можно оценить, как $2 \cdot (100 \cdot 10 \cdot 25) \text{ (м}^3\text{)}$, то есть объем внедрившегося расплава составит $2 \cdot 25000 \text{ м}^3$. При этом было вытеснено $2 \cdot 5000 \text{ м}^3$ воды. Очевидно, что произошло ее испарение, как минимум, в таком же объеме. Образовавшийся пар (при его плотности 0.22 г/см^3 , занял объем порядка $2 \cdot 2.25 \cdot 10^4 \text{ м}^3$, вытеснив из этого объема воду.

Оценим повышение пластового напора за счет этого парообразования в центральной части одной из даек. Для этого используем зависимость, используемую в динамике подземных вод:

$$\Delta H = \frac{Q R}{2 \pi k m r} \ln \frac{R}{r},$$

где R – радиус влияния нагнетания, $R = 1.5 \sqrt{a t}$;

a – коэффициент пьезопроводности;

t – время нагнетания;

Q – расход нагнетания;

r – приведенный радиус нагнетательной системы; для линейных систем определяется примерно, как $0.2 l$, где l – длина системы (100 м).

При $a = 1.2 \cdot 10^5 \text{ м}^2/\text{сут.}$, $t = 3 \cdot 10^{-2} \text{ сут.}$, $Q = 2.25 \cdot 10^4 : 3 \cdot 10^{-2} = 7.5 \cdot 10^5 \text{ м}^3/\text{сут.}$;
 $r = 20 \text{ м}$; $k = 1 \text{ м/сут.}$; $m = 25 \text{ м}$, $\Delta H = 7000 \text{ м}$.

Такое повышение напора соответствует давлению порядка 70 МПа.

Такое давление очевидно способствовало образованию трещины гидроразрыва в аргиллитах, в которую устремился расплав (рис.1,а). Горное давление в кровле тамбских слоев составляет примерно 15 МПа, пластовое – 10 МПа.

Дополнительное давление газов и паров, профильтровавшихся в базальный горизонт (от 0 до 15 МПа), совместно с естественным пластовым давлением (10 МПа), имело следствием всестороннее обжатие расплава, поступающего в осадочный чехол. Благодаря этому обжатию даечная форма внедрения расплава на уровне подводящего канала сменялась на цилиндрическую в пределах осадочного чехла. Степень изометричности этой формы и характер внедрения зависели от величины давления. При давлении газов и паров выше 15 МПа расплав внедрялся дискретными порциями, чередуясь с паро-газовой фазой.

Дальнейшему раскрытию вертикальной трещины способствовало расклинивающее воздействие на нее расплава, «загоняемого» туда давлением пара из пласта (рис.1,б).

На глубине менее 500 м расплав снова внедрился в проницаемый пласт, сформировав здесь силл (рис.1,б). Раскаленная магма нагрела воду в водоносных горизонтах вмещающих песчаников и превратила ее в пар. Пар, расширяясь, дезинтегрировал расплав и вызвал его перемешивание с осадочным материалом (рис.1,в). Полного выброса пород в виде взрыва, видимо, не было. Преодоление горного давления 500-метровой толщи пород по расчетам могло обеспечиваться за счет испарения воды, содержащейся в этой толще на площади $1.6 \times 1.6 \text{ км}$, то есть – в 7 раз превышающей площадь трубки. Однако, несомненно действовал механизм газлифта – транспортировки дезинтегрированного осадочного и кимберлитового материала паро-газовой смесью вверх по разрезу осадочного чехла с формированием диатремы. Направленное вверх давление пара (рис.1,б) могло составлять около 1 МПа.

В конечном итоге, до глубины 500 м трубка Пионерская сложена, по данным бурения, ксенотуфобрекцией и автолитовой брекцией. Диаметр ее на глубине 500 м по длинной оси составляет ~ 700 м. Нужно отметить, что ксенотуфобрекция тяготеет к периферии подводящих столбов, автолитовая брекчия – к их центрам. То есть эти две разновидности могли образовываться одновременно, а их различия связаны со снижением количества магматического материала при удалении от подводящих каналов.

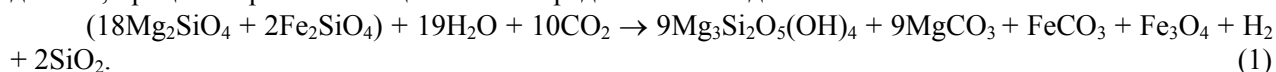
Таким образом, первый прорыв осадочного чехла привел к формированию первой трубки взрыва, расположенной примерно в центре рудного поля. В нашем случае это – самая крупная трубка Пионерская размером $1 \times 0.5 \text{ км}$. В корневой части трубки дегазация кимберлитов приводит к кристаллизации пород. Поэтому следующие «локализованные» внедрения расплава происходят аналогичным вышеописанному образом по обе стороны от центральной трубки, на серединах 7-километровых отрезков системы подводящих трещин в фундаменте. В этих точках формируются наиболее богатые алмазами трубки Ломоносова и Архангельская. Затем образуются более бедные трубки Карпинского и Поморская и в последнюю очередь – самые периферийные и мелкие.

Ввиду существенного участия подземных вод в формировании алмазоносных кимберлитов Мезенской синеклизы, наиболее характерной их особенностью является интенсивная измененность пород. В первую очередь это проявляется в их сапонитизации. Для сравнения можно сказать, что в кимберлитах Якутии преобладает серпентин, а в Южной Африке – оливин. Оливин в породах месторождения алмазов им.М.В.Ломоносова установлен только в порфириновых кимберлитах глубоких горизонтов (840 – 1065 м); серпентин – в порфириновых 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 ксенотуфобрекциях прослежен более чем на 700 м.

Вмещающими породами по отношению к кимберлитовым трубкам являются песчаники, алевриты и аргиллиты венда: падунской свиты (Vpd) – мощностью 120-200 м, мезенской (Vmz) – 250 м, усть-пинейской (Vup) – 500 м и рифея (R) – от нуля до 4.5 км.

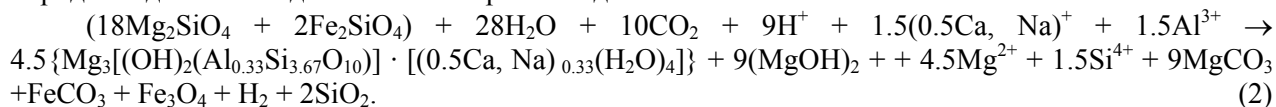
К моменту внедрения в породы осадочного чехла расплав, в основном, содержал неизменный оливин.

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 весовых, или 46.5 объемных процентов воды; 15 весовых процентов CO_2 . Объем серпентина составляет 133% по отношению к объему исходного оливина.

Ввиду избытка воды в системе и присутствия Ca, Na и Al во вмещающих породах, происходит и образование сапонита уже на этой пневматолитово-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 весовых, или 71 объемный процент воды. Образующийся сапонит составляет 70.2% от веса исходного оливина, его объем составляет 129.4% по отношению к объему исходного оливина.

При серпентинизации оливина по (1) содержание MgO, снижается с 50% до 37.5%; при сапонитизации по (2) – до 19%. Фактические содержания 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 таблице и на рис.2 представлена информация 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.

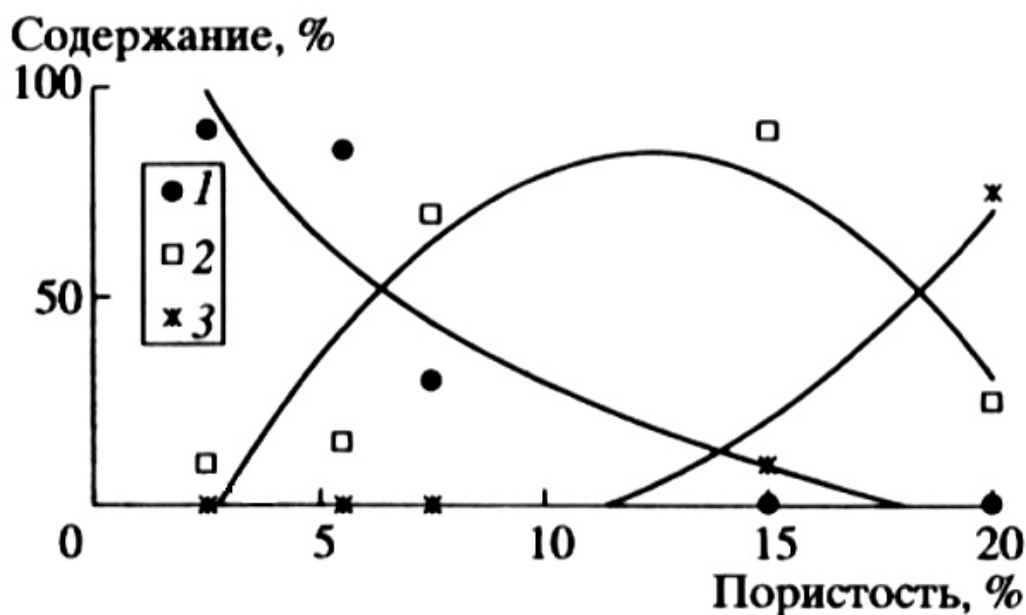


Рис. 2. Зависимость измененности оливина кимберлитовых пород от пористости вмещающих осадочных пород: 1 – оливин, 2 – серпентин, 3 – сапонит

Графики, приведенные на рисунке, показывают очевидную связь состава кимберлитовых пород всех регионов и фильтрационных и емкостных свойств вмещающих осадочных пород. В породах с пористостью $n = 6 - 18\%$ 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.

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

Регион	Преобладающие породы чехла	пористость, %	коэффициент фильтрации, м/сут	Содержания минералов, %		
				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 Vup	15	10^{-4}	–	90	10
	песчаники V	20	$1 - 10^{-2}$	–	25	75

Исключительно высокая степень измененности кимберлитов Беломорья под воздействием экзогенных подземных вод свидетельствует о значительной роли последних в сохранении или уничтожении алмазности пород трубок взрыва. Поэтому палеогидрогеологические условия, существовавшие в период формирования кимберлитов Беломорья, можно рассматривать как один из поисковых критериев.

ICDP FAR-DEEP – Scientific Drilling through the Archaean-Palaeoproterozoic transition: Progress report

Melezhik, V.A.¹, Lepland, A.¹, Philippov N.B.²

¹ Geological Survey of Norway, Trondheim, Norway, e-mail: victor.melezhik@ngu.no, aivo.lepland@ngu.no

² State Company "Mineral", St. Petersburg, e-mail: nikolay.philippov@scmin.spb.ru.

Research into the critical intervals in Earth history when the biosphere, hydrosphere and atmosphere were changing in a planetary-scale fashion, has intensified during the last decade. Two scientific drilling projects initiated recently (Archaean Biosphere Drilling Project and Deep Time Drilling Project) focus mainly on the early evolution of life. The ICDP Fennoscandian Arctic Russia – Drilling Early Earth Project (FAR-DEEP) will address several global events that occurred during Early Palaeoproterozoic time and led to the emergence of the modern, aerobic Earth.

The project has three phases: (i) drilling operations (May-October 2007), (ii) core archive (January-July 2008) and (iii) core study (2008-2012). The costs of the drilling operations is ca. USD 1 million with financial support provided by the ICDP, NFR (Norway), Centre of Geobiology (Norway), DFG (Germany), NASA and NSF (USA). Financial support for the core archive, ca. USD 400,000, is provided by the Geological Survey of Norway. The estimated costs of the research programme is USD 20 millions which be shared between 18 countries involved in the project.

The first phase of the project is the drilling of 14 boreholes (c. 3,500 km in total) through several key intervals in the Palaeoproterozoic sedimentary and volcanic successions on the Russian part of the Fennoscandian Shield. The scientific drilling will enable us to obtain fresh rocks recording global intracontinental rifting, the oldest known glaciation(s), atmospheric oxygen rise, change in redox-state of the mantle, the Earth's greatest perturbation in the global carbon cycle (Lomagundi-Jatulian Event), modern-style recycling of carbon, sulphur and phosphorus, generation of the oldest giant oil deposits (Shunga Event), and other fundamental events that heralded the emergence of the modern, aerobic Earth [1]. The drillcores will enable us to address several fundamental questions of the Earth system evolution with an international research group by using a multidisciplinary approach.

During the conference a progress report will be made on the first phase of the project. The project Principal Investigator and members of Central Science Team will discuss potential involvements of Russian scientists and geology students in the FAR-DEEP research programme.