

ТРУДНЫЕ ПУТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕДУКЦИИ ...
Размышления над книгой Владимира Степановича Шкодзинского
«Петрология литосферы и кимберлитов
(модель горячей гетерогенной аккреции Земли)» [1]

Л.Т. Шевырёв

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 1 июля 2014 г.

Заговори, чтобы я тебя увидел...
Сократ

Для начала напомним читателю, что дедукция (*deductio* — *выведение*) есть метод, в котором частные положения выводятся из общего, продуктивной гипотезы, логическим путем. Если основной посыл верен, то верны и частные выводы-заклучения. Такой гипотезой в книге являются представления автора о горячей гетерогенной аккреции Земли, тесно связанной со становлением кимберлитов и алмаза. Работа показала рецензентам очень основательную. Было интересно поверить частные выводы-теоремы, используя значительный фактологический материал, накопленный рецензентами в работе над основами исторической минералогии [2]. В логике это именуется индукцией («введением» новых данных), метод рассуждения от частного к общему.

Владимир Степанович на протяжении тридцати лет исследует грандиозную, сократовского масштаба, проблему происхождения недр нашей Планеты, продвигая концепцию горячей гетерогенной аккреции. В своей книге он повествует о далеких событиях, когда из-за взрыва Сверхновой (4,6 млрд лет назад) произошло гравитационное сжатие газово-пылевого облака и его дальнейшая эволюция: 1 – разделение в диске частиц с разной скоростью вращения и выносом более «скоростных» к периферии; 2 – смена изотермической эволюции вещества при его уплотнении адиабатической, т.е. рассеивания тепла аккумулярованием с ростом T и P ; 3 – обособление Протосолнца в центре и вращающейся внешней части; 4 – непродолжительное (1 млн лет) сжатие Протосолнца, начало термоядерной реакции, рост T ; 5 – образование собственно Солнца на рубеже 4567,5 млн лет назад и родительского тела железных метеоритов на 0,5 млн лет позднее (с. 30); 6 – выброс из Солнца вещества протопланетного диска, занявшего в нем около 1% (в т.ч. все короткоживущие изотопы), остальные 99% происходили из ранних звезд; 7 – конденсирование из горячего стывающего вещества протодиска элементов и минералов в последовательности: а – Re, Os, W (1800° K, или 1527° C); б – корунда (1785° K); в – пе-

ровскита (1647° K); г – мелилита (1625° K); д – шпинели (1513° K); е – диопсида (1450° K); ж – форстерита (1444° K); з – анортита (1362° K); и – энстантита (1349° K); а – железа (1349° K), по Р. Т. Додду [3].

Отечественное научное сообщество, сетует автор, сложно воспринимает новую концепцию горячей гетерогенной аккреции. Вероятно, профессиональный и жизненный опыт специалистов не допускает столь раннего разогрева первичного вещества «в ледяном космическом пространстве». Геологи в большинстве верны взглядам О. Ю. Шмидта, Б. Ю. Левина, Г. Ф. Хильми о первоначально холодной Земле, аккумулярованной из небольших твердых тел захваченного Солнцем допланетного роя. Впервые о них научная общественность узнала в 1943 г., затем в «Четырех лекциях о происхождении Земли» (Геофизический институт РАН, 1948 г., опубликованы в 1949, 1950, 1957 гг. в России, в 1957 г. в Лондоне). Однако, ныне это развитая многоплановая теория, общепринятая в Мире, большое достижение ИФЗ РАН и национальной науки. Три ее составные хронологического плана части (происхождение допланетного облака из вещества вращающегося сгустка либо захваченного гравитацией Солнца, возникшего вместе с ним и вращением вокруг него; образование в облаке планетной системы; ранняя эволюция планет) взаимосвязаны, но довольно самостоятельны, хотя прогресс в каждой оказывает влияние на остальные. В поясе астероидов Отто Юльевич видел еще одну несформировавшуюся Планету. Последователь О.Ю. Шмидта астроном Виктор Сергеевич Сафронов разработал количественную модель образования Земли и планет из газопылевого допланетного облака, уточнив его динамику, параметры конденсации твердых частиц аккумуляции в крупные тела. Его метод оценки нагревания растущей планеты ударами падающих тел, выявил: центр Земли формировался довольно холодным (до 1000° K, или 727° C), наружная тысячекилометровая оболочка прогревалась до T плавления. Раннее развитие Земли шло под влиянием двух процессов: гравитационной

дифференциации недр и конвективного выноса тепла. В постоянно развивающейся теории О. Ю. Шмидта ныне далеко не столько первичного космического холода как в построениях 1943 и 1948 гг.

«В образовании Земли участвовали крупные тысячекилометровые тела, тепло от ударов которых послужило источником нагрева недр Земли и ее дифференциации на мантию и ядро. Оценки первоначальной температуры Земли явились отправным пунктом для изучения последующей тепловой истории Земли и планет, которые также исследовались в Институте физики Земли под руководством Б. Ю. Левина» [4].

Строились в ИФЗ модели внутреннего строения

планет в сравнении с Землей (третья часть теории О. Ю. Шмидта). Образование Луны и спутников планет были рассмотрены как одновременные с формированием самих планет. Монография В. С. Сафронова [5] после ее перевода на английский язык в США в 1972 г. стала одной из самых цитируемых книг в специальной литературе. Модель Шмидта—Сафронова широко применяется в интерпретации астрофизических наблюдений. Модели многих иностранных авторов ныне также предусматривают горячую постимпактную дифференциацию вещества планетизималей (planetesimal) с появлением первичной атмосферы (например, рис. 1).

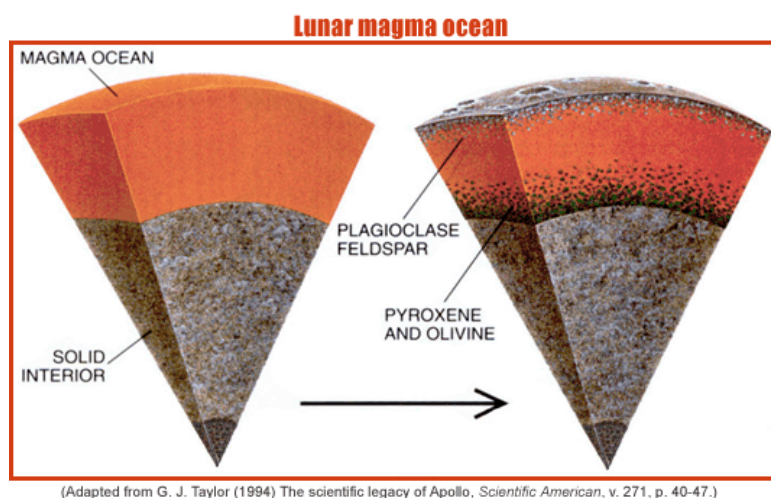


Рис. 1. Эволюция магматического океана Луны и его последовательное расслоение с появлением верхнего плагиоклазового и нижнего пироксен-оливинового слоев. Из [6].

От начала времен не осталось не измененных вещественных свидетельств. Первичное вещество уже раннего докембрия в наши дни изменено до неузнаваемости. Все, о чем рассказал в книге В.С. Шкодзинский «выведено» (дедуктировано) из продуктивной идеи, является цепью рассуждений из соединенных логически звеньев. Например, «Железный расплав нижнего слоя ... просачивался в недифференцированное вещество Земли и формировал ее ядро... в нижней мантии до настоящего времени сохранилось большое количество металлического железа, и процессы отсадки его продолжают» (с. 33). У других исследователей свои цепи. Академик А.А. Маракушев и В.Ф. Белый [7] видят ядро метастабильным скоплением энергоемких жидких флюидных компонентов, сопоставимых в этом отношении с тринитротолуолом $C_7H_5(NO_2)_3$. Вот и А. Е. Рингвуд [8] тоже считал земное ядро источником флюидов. И то, что это, кажется, так и есть, подтвердим новыми данными ниже.

Глубинная сейсмическая томография как бесспорное доказательство? Только в случаях, если модель интерпретации основана на реальном геологическом материале. Заглянул человек в недра Планеты поглубже и многое из «выведенного» сменил. Кольская сверхглубокая, пробуренная на 12262 м близ озера Вильгискоддеоайвиньярви («Под Волчьей горой», фин.) в 1970–1992 гг. показала: сейсмические разделы

не есть границы толщ разного петрографического состава. Они отражают смену свойств с глубиной: при больших T и P граниты по петрофизическим особенностям весьма схожи с базальтами. Насчитывают более 12 тысяч новых наблюдений и выводов, которые принесла Кольская СГС [9]. Среди них открытие явлений уменьшения пористости с глубиной, рост трещиноватости (прогнозировалось наоборот). Троекратное превышение прогнозируемого температурного градиента (на 7 км – 120 °С, на 12 км T – 230 °С). Присутствие гидротермального оруденения на глубинах более 5 км (полагали, из-за высокой плотности пород такое невозможно). Потоки летучих: мощные ртутные эксгаляции в водоносной зоне разуплотнения на глубине 5700–6842 м (0,3–0,6 г/т Hg при кларке, по К.Г. Видиполу, 0,08 г/т).

То, что этот мантийный по происхождению металл зафиксирован в столь больших количествах уже на такой глубине (внизу есть еще несколько обводненных зон) – верный признак тектонической раскрытости всего разреза снизу доверху. Даже в архейском комплексе (интервал 9500–11000 м) отмечено присутствие самородных металлов, хорошо известных для курильщиков Океана – цинкистой меди, олова, соединений типа (Cu, Zn, Ni, Co), интерметаллид (Pb_3Bi). Цинкистая медь, как и прочие природные сплавы, встречается в микротрещинах. Образует чешуйки и зер-

на неправильной формы. Ее образец с глубины 10 154 м содержит (масс. %) Cu (65,03), Fe (1,33), Zn (30,28), Ni (0,12). Интересно, что подобных интерметаллидов не установлено в приповерхностных породах геопространства скважины, что можно рассматривать как косвенный признак связи с интрателлурическими флюидами, скорее всего, современными. И такое происходит на консолидированной асейсмичной площади Печенгского геоблока древнего Балтийского щита!

На XXVII сессии МГК (1984 г.) Владимир Владимирович Белоусов, которого никто не заподозрит в непрофессионализме, на вопрос «Что самое главное показала Кольская скважина?» ответил: «Главное, она показала то, что **мы ничего не знаем о континентальной коре**» [9].

Вот и академик Петр Леонидович Капица требовал на экзаменах быстрых дедукционных решений, понимая их неоднозначность: «Почему Луна не из чугуна?» Ответ находчивого юноши: «Потому что на Луну не хватило б чугуна». Возможны альтернативные подходы: «Сообщаем всему миру, что Луна – головка сыру». М.б., из-за каверн-кратеров.

Почему говорим об этом так подробно? Оттого, что рецензенту гипотеза Владимира Степановича не показались конкурирующей с теорией О. Ю. Шмидта (разные масштабы), зато – продуктивно развивающей некоторые аспекты ее третьей части, посвященной ранней эволюции планет, в данном случае Земли.

Владимир Степанович остановился на названии своей книги, несколько похожим на работы и иных авторов (например, [10] и т.д.). Это маскирует основную идею монографии, которая, возможно, передавалась бы лучше, например, словосочетанием: «Аккреционный гетерогенный магматический палеоокеан и алмаз». Не вполне ясно, отчего в связи с основной идеей выделены именно «кимберлиты», породы довольно молодые. Самые ранние на Земле их представители – тощие четыре силла в **Кемозеро**, Карелия, – имеют дату 1764 млн лет, далекую от первичной аккреции (возраст Земли 4,56 млрд лет, с. 25). Да, в экономическом плане кимберлиты ныне наиболее важны, но в истории Земли это лишь один из многих транспортеров алмаза. В позднем архее их роль выполняли лампрофиры (**Wawa**, Онтарио), в раннем протерозое к ним добавились коматииты (**Dachene**, Французская Гвиана). Кимберлиты не просто молоды, они породы в представлении многих гибридные. Мантийные, но – с большой добавкой корового вещества. Эти большие добавки, попавшие в верхнюю мантию субдукционным или иным путем, плюс молодой возраст делают не вполне удобным использование именно кимберлитов при обсуждении идеи древнейшей горячей аккреции.

Иное дело алмаз! Трудно найти другое вещество, в формировании месторождений которого оказались задействованы геологические процессы от раннего архея до современности. Наиболее ранней разностью алмаза может быть карбонадо – «черный алмаз», поликристаллическое образование из алмаза, графита,

аморфного углерода, множества включений минералов-узников. Карбонадо найден только в россыпях Бразилии, Центрально-Африканской республики, Украины. «В минерале (карбонадо) зерна захваченные цирконов разложены на ZrO_2 и SiO_2 что возможно при $T = 1825-2550$ °С, возраст рутила из карбонадо $\sim 3916 \pm 1300$ и $\sim 3811 \pm 1800$ млн лет. Он на 100 млн лет древнее алмазной матрицы». Обращает на себя внимание обогащенность легким изотопом ^{12}C , нетипичная для классических кимберлитовых алмазов, но – свойственная, например, шунгиту. До единого мнения о происхождении карбонадо далеко. Он навевает мысли о: межзвездном веществе; недрах звезды, взорвавшейся как сверхновая; появлении от жара при естественной U-Th радиации; от удара метеорита; преобразовании органики при высоких давлениях в земных глубинах... [11].

Присутствие в алмазной матрице мантийных Si, SiC, Fe-Ni («коровые» минералы в порах поздние) при отсутствии высокобарического («ударного») лондсдейлита подтверждает, скорее, земное происхождение карбонадо. Разложение «узников»-цирконов на оксиды ZrO_2 и SiO_2 при $T = 1825-2550$ °С – признак чрезвычайных энергетических обстоятельств среды нахождения черного алмаза. Всё это позволяет говорить о карбонадо как о «праалмазе», предвестнике традиционной «белой» разности, с понятными источниками и транспортерами. Древен и «белый» алмаз. Использование Sm/Nd изотопной системы для включений низкохромовых гранатов перидотитового парагенезиса (P-тип) из кимберлитов диатрем Финш и Кимберли Южной Африки дали модельный возраст 3,3 млрд лет (ранний архей), интерпретируемый как время образования алмаза. Другие, более обогащенные кальцием гранаты перидотитовой ассоциации из кимберлитов рифейской трубки Премьер, ЮАР, при анализе построенных для них изохронных диаграмм (Sm/Nd изотопная система) указали на дату около 2 млрд лет (ранний протерозой). Возможно, здесь имело место омоложение, связанное со становлением гипербазитов Бушвельдского комплекса, имеющего именно этот возраст. Три сульфидных включения P-типа (перидотитового типа, отличного от E-типа, эклогитового) из трубки **Удачная** Якутской алмазоносной провинции (ЯАП) подтвердили Re-Os модельный возраст алмазов – 3,1–3,5 млрд лет (ранний архей). Правда, четвертое зерно отсюда оказалось открытой системой, лишней раз подтвердив необходимость индивидуального и комплексного подхода к подбору образцов для радиологических исследований (по поговорке «возьмешь абы как, получишь абы что»). Алмазы кимберлитов ЮАР (включения – сульфиды E-типа) дают Re-Os модельные даты от 1,1 до 2,8 млрд лет, показывая огромные отличия в возрасте кристаллов полезного компонента даже в одной и той же диатреме. Упомянем и Re-Os определения для сульфидных включений аллювиальных алмазов Восточной Австралии: 2,4–3,4 млрд лет. G. Pearson [12] полагает, подобный разброс отразил некую последовательность геологических событий разных интервалов в начальных фазах ранне-

го протерозоя и почти всего архея.

Т.е. акцент именно на алмаз, а не на кимберлиты, его поздние носители, смену транспортеров минерала во времени, представляется тем, над чем автор еще может подумать в развитие своей основной идеи в будущем.

Исследовав существующие модели глобального магматического океана Земли [13–16], В.С. Шкодзинский сформулировал и их недостаток: невозможность убедительно объяснить происхождение большого объема кислой коры. Здесь он поддержал R. Honda et al. [16], по расчетам которых в твердом состоянии обычная гравитационная дифференциация не обеспечивает быстрое образование ядра. Иное дело, полагает автор, – фракционирование глобального магматического океана, возникшего путем аккреции не гомогенной (однородный состав выпадающих частиц, переплавление их в результате тепла от распада короткоживущих ^{146}Sm , ^{129}I , ^{205}Pb , ^{107}Pd , ^{53}Mn , ^{26}Al), но гетерогенной (импактное тепло, разнообразный состав частиц с изменениями во времени).

В книге есть раздел «Геологические доказательства большой длительности кристаллизации магматического океана» (с. 51–58). Естественно для геолога заинтересованно погрузиться в него.

Раздел полон удивительных средних дат: для «большинства ксенолитов мантийных пород», «среднего возраста включений в алмазах» и т.д. Утверждается: «возрастание интенсивности кимберлитового и карбонатитового магматизма во времени, особенно в течение фанерозоя». К сожалению, Владимир Степанович в своих построениях (рис. 7–9, стр. 27, 28) здесь и во многих других местах положился на работу А.А. Фролова с соавторами [17], фактологический материал которой не бесспорен (с малым числом ссылок на первоисточники, без указаний на методы датирования и т. д.). Например, на с. 448 для финского карбонатитового массива **Сиилинярви** А. А. Фролов с соавторами привели дату 1785 млн лет, с ошибкой почти на миллиард лет (подведя тем самым и Владимира Степановича). Карбонатитовый комплекс **Сиилинярви** в Суоми много древнее, 2605 млн лет (U-Pb цирконов). Даже прежние геохронологические даты для него простирались от 2,58 млрд лет до 2,61 млрд лет. В итоге U-Pb дата по цирконам и бадделеиту (средневзвешанная) – 2610 млн лет [18]. При этом архейские карбонатиты **Сиилинярви** не единственные на Земле. Массив **Скьёлдунген** на юго-востоке Гренландии – 2664 млрд лет. На западе этого острова карбонатиты архейского комплекса **Туперталик** с датами около 2,6 млрд лет известны в выходах на площади **Маниитсок**. Комплекс щелочных пород с карбонатитами **Каминак Лэйк** на Северо-Западной территории Канады имеет возраст кристаллизации 2659 млн лет, U-Pb (цирконы). Его вмещают тоналиты, датированные 2700 ± 11 млн лет [19]. Нуждается в правке и рис. 62 В. С. Шкодзинского (с. 161), основанной на добротной, но устаревшей монографии [20].

Сведения о радиологическом методе, которым

осуществлено датирование вещества, – приоритетны в обобщающих работах. Даты, полученные разными способами, нельзя усреднять. Их сложно сравнивать. Это аргументировано показано именно для Кимберлитов, например, В. Ф. Кривоносом [21]. Недостатки чужой базы данных (здесь не место их разбирать) перешли, к сожалению, в рецензируемую работу.

Когда первичные данные не вполне надежны, то и доверие к разным «средним», невелико. Еще аспект, не учтенный Владимиром Степановичем. Говоря о «резком возрастании интенсивности карбонатитового и кимберлитового магматизма во времени, особенно в течение фанерозоя» (с. 53), он не вспомнил о влиянии эрозии на число и сохранившиеся площади выходов магматитов. Западные ученые это учитывают. С.Е. Кеслер и Б. Уилкинсон [22], размышляя о действительной минерагенической *продуктивности* этапов, заметили, что **количество рудных объектов малой глубинности со временем уменьшается, глубинных древних понемногу растет: они выносятся к поверхности**. Кое-что здесь можно обсчитать. Компьютерная модель учла время и глубинность становления объектов, которые могли бы случайным образом погружаться, захороняться либо всплывать в зону воздействия эрозии. Согласно ей, на Земле средние темпы поднятий и опусканий составляют: около 50 м/млн лет для месторождений эпитептермальных, 175 млн лет меднопорфировых и 186 м/млн лет – орогенных золоторудных. Древняя эрозия – виновница того, что мы имеем промышленные россыпи кимберлитовых алмазов на востоке Австралии, Калимантане, но не их коренные источники.

Что делать, при столь далеко идущих построениях лучше опираться на собственную базу данных, лучше, с «историко-минерагеническим» (хронологическим) уклоном, именно к конкретной работе. Без этого «зависает» и еще одно важное положение автора о существовании в низах современной литосферы карбонатитовых и кимберлитовых расплавов (выведено на основе наблюдаемого роста интенсивности магматизма в неогее). Между тем, верность его подтверждают геологические данные. Например, реально существующий вулкан Ол Дойньо Ленгай (Ol Doinyo Lengai) на севере Танзании, около 15 км (9,5 миль) к югу от озера Натрон (Natron), извергает и ныне карбонатитовые лавы [23]. О том же говорят молодые миоценовые (18–20 млн лет) лампроиты **Нункамбах** (Noonkanbah, 24 трубки и дайки), **Эллендейл** (Ellendale, 48 тел), **Калвиньярдах** (Calvynyardah, около 10 тел) в Западной Австралии.

Представления автора о кимберлитах – самостоятельная тема, где у него серьезный задел и немало интересных мыслей. Например, многие исследователи не выделяют в кимберлитовых породах магматических серий. Это трудно реализуемо из-за изменений их первичных составов путем ассимиляции, обильных ксенокристов, неявными связями с магматическим фракционированием и т.д. Владимир Семенович такие серии на основе составов пород трубок Якутии разглядел (рис. 101, с. 251) – кимберлитовый и лам-

проитовый секторы (тренды). Все – с позиций созданной модели образования кимберлитовых остаточных расплавов в результате фракционирования перидотитового слоя магматического океана на диаграммах (Na, K)₂O–SiO₂, MgO–SiO₂, MgO–CaO (рис. 102), MgO–TiO₂. Магмы кимберлитов, карбонатитов, лампроитов появлялись из остаточных расплавов перидотитового и пикритового слоев. При молекулярном отношении CO₂ / CO₂ + H₂O > 0,6 возникали остаточные расплавы карбонатитов, меньше – лампроитов и прочих щелочных пород. Конкретны и наглядны примеры кимберлитов карбонатитовой серии – трубка **Юбилейная**, лампроитовой – трубки **Мир** и **Интернациональная** (частично), трубок **Архангельской** субпровинции. Среди кимберлитов карбонатитовой серии автор выделил собственно кимберлиты, переходные карбокимберлиты. Кимберлиты лампроитовой серии – пикрокимберлиты и лампрокимберлиты. Все они отличны по содержанию алмазов и их включениям, перидотитовым и эклогитовым. Что ж, схожие мысли можно найти у А. Д. Харькина с соавторами [24], В. К. Гаранина [25], выделявшим переходную разность между кимберлитами и лампроитами (породы **Зимнего берега** и поля **Панна** в Северной Индии).

Книга бросает ретроспективный взгляд на многие загадочные проблемы геологии алмаза, которые, по причине их трудности, редко затрагивают в литературе. Интересно и познавательно знакомиться с ними в интерпретации Владимира Степановича. Перечислим некоторые.

Крупные камни происходят из вязких расплавов, существующих весьма продолжительное время. При этом процессы изменения Т и состава происходили медленно, пересыщения углеродом не было, зародышей для дальнейшего роста мало. Автор счел, это была *самая ранняя стадия* фракционирования перидотитового слоя магматического океана, с его медленной кристаллизацией из-за высокой Т верхних частей. В поздних продуктах фракционирования алмазов больше, они мельче. То, что содержания СаО в кимберлитах лампроитовой серии и крупность алмаза коррелируются (как и содержания SiO₂, определяющие вязкость расплава) автор пробует подтвердить «средними значениями» веса камней (для кимберлитов лампроитовой серии определены в «до 150 мг»), а не примерами конкретных объектов. Последнее читателю было бы полезней. Ссылка на эксперименты [26] мало что дает, куда убедительней увидеть как это «работает» в природе.

Да, есть трубки, специализирующиеся только на крупные камни, например, **Летсенг-ле-Тирае** в Лесото. Там такие алмазы открывают раз в квартал (хотя в 2009 г. найдено более 700 камней весом более 10,8 карат), но алмазной «мелочи» очень мало. Однако ту же **Премьер** из поля **Кимберли** с ее кристаллами мирового уровня в бедности камней прочих гранулометрических классов никак не обвинить (средний вес кристаллов 30 мг). Декларируемая обратная зависимость между долей крупных алмазов и продуктивностью трубок (с.346) не характерна и для такого уникала как раннетриасовая трубка **Джваненг** в Ботсва-

не со средними содержаниями полезного компонента 1,25 кар./т, крупнейшими камнями (кристалл 440 карат, 1993 г.), очень высоким качеством сырья.

Т.е. подмеченные закономерности не всеобщие. Связи же содержаний Cr₂O₃ в пиробах с алмазностью сомнений не вызывают и общепризнанны.

Интересны, но не бесспорны многие мысли автора о кимберлитах. Например, о природе изменений состава и алмазности кимберлитовых полей. «На окраинах платформ с наиболее тонкой литосферой должны отсутствовать ее нижние части, содержащие кимберлитовые по составу остаточные расплавы и субстраты... Поэтому на окраинах платформ в общих случаях *вообще не могут формироваться никакие кимберлиты*... Последние на сотни километров удалены от края платформ, что подтверждается примерами платформ Индийской (160 км), Восточно-Европейской (300 км), Сибирской (200 км)». Правда, для Африканской платформы удаление только 100 км, но «это видимо, связано, с отделением ее от Южно-Американской в мезозое...домезозойские кимберлиты...могли оказаться на краю молодого континента» (с. 377).

Но как же тогда промышленные кимберлиты и лампроиты «провинции **Северного Кимберли**», от которых до края платформы всего ничего? Или **Аргайл**, оказавшаяся вообще вне кратона, на площади подвижного пояса Холлс Крик? (рис. 2). При том, что во всех реконструкциях кратон Кимберли помещают не внутри Гондваны, а на самом краю (рис. 3).

Карбонатитовые массивы, указывает автор на с. 378, обычно находятся ближе к окраине кратонов, чем кимберлиты. Но – разве не отсутствие исключений

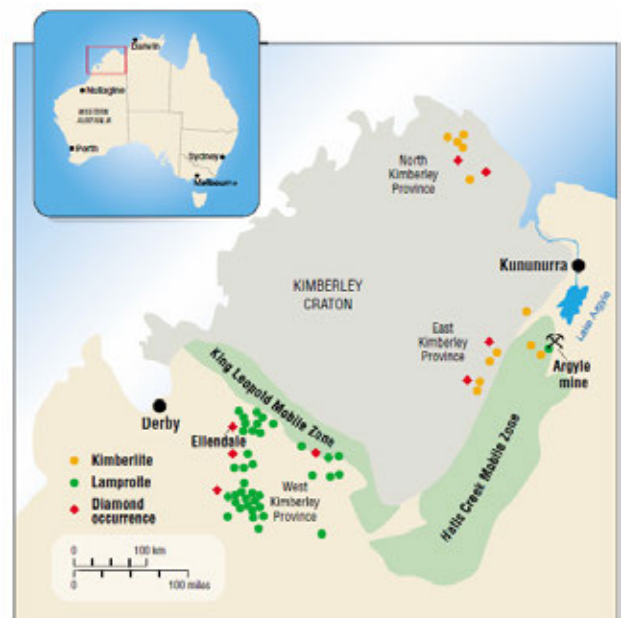


Рис. 2. Рифейские и другие кимберлиты и лампроиты, в т.ч. с промышленными содержаниями алмазов провинции Северный Кимберли, Австралия, находятся на краю (см. масштабную линейку) не только этого континента, но и всей Гондваны [27].

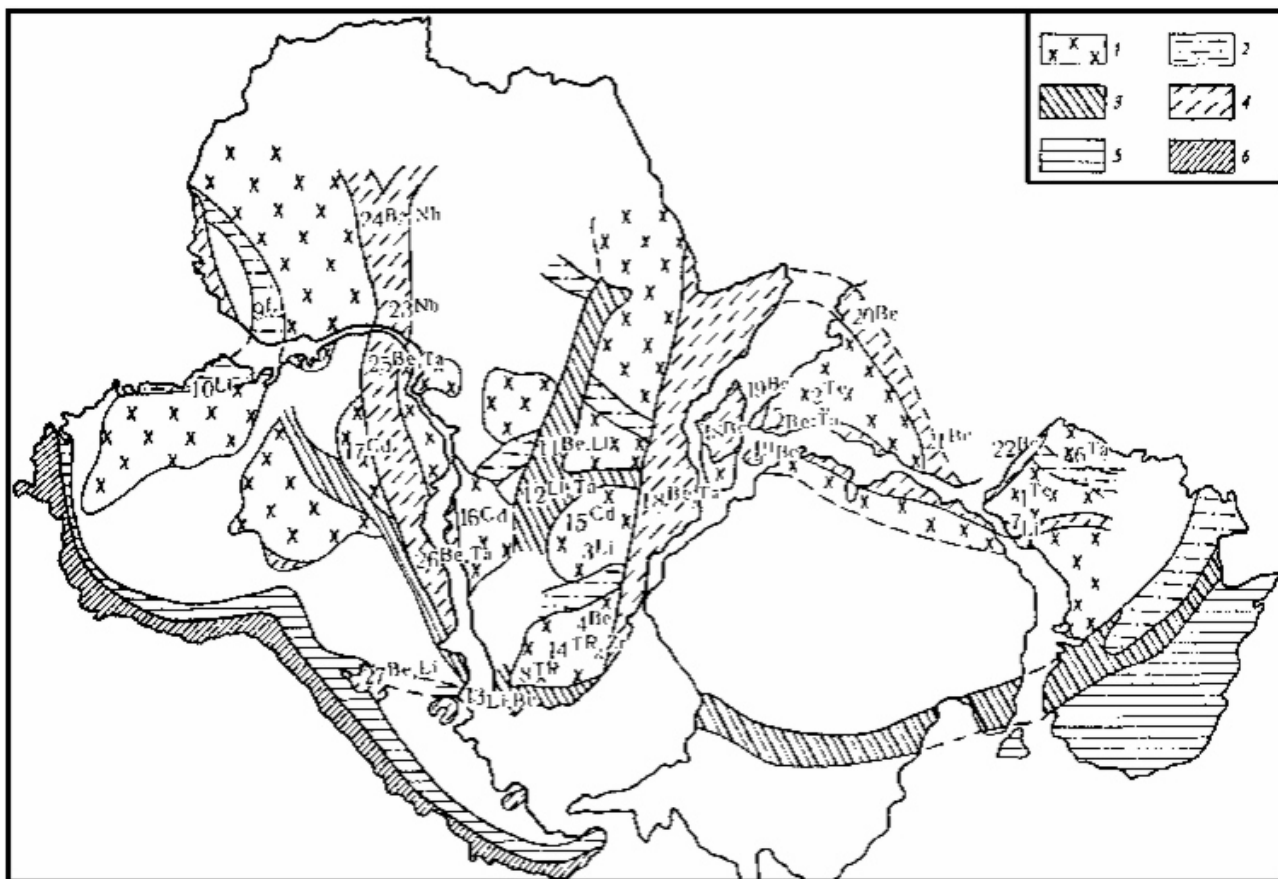


Рис. 3. Соотношение рудных провинций Южных материков до распада Гондваны. Кимберлитовая провинция Кимберли Западной Австралии находится на самом краю рисунка, сразу выше «зубца» залива Карпентария. По [29, с. 12, 13, рис. 1]. 1 – древние щиты: архейско-раннепротерозойский цикл (4,0–2,5 млрд лет); 2 – пояса эбурнейского цикла (2,2–1,8 млрд лет); 3 – пояса позднепротерозойского цикла (1,4–0,9 млрд лет); 4 – позднерифейские и более молодые зоны тектоно-магматической активизации; 5 – варисский пояс; 6 – альпийский пояс. Редкометалльные провинции (цифры на схеме): 1 – Калгурли-Кулгарди; 2 – Колар; 3 – Родезийская (Бикита, Зимбабве. Пегматиты с возрастом 2,65 млрд лет); 4 – Трансвааль; 5 – Майсур; 6 – Пилбара; 7 – Йилгари; 8 – Капская; 9 – Западно-Африканская; 10 – Гвианская; 11 – Угандийская; 12 – Заирская; 13 – Намибийская; 14 – Витватерсранд; 15 – Замбийская; 16 – Ниари; 17 – Византии; 18 – Мозамбикско-Мадагаскарская; 19 – Южно-Индийско-Шри-Ланкийская; 20 – Раджастхан; 21 – Бихар; 22 – Нортгемптон; 23 – Джос; 24 – Сахарская; 25 – Борборема; 26 – Минас-Жераис; 27 – Пампа.

формирует доверие к эмпирическим закономерностям? Владимиру Степановичу стоило бы упомянуть, что вполне одновозрастные карбонатиты и кимберлиты, «породы-антагонисты», как их иногда называют, совсем не против встречи на одной небольшой площади. Например, на Терском берегу Мурманской области с его верхнедевонскими апатит-редкометалльными карбонатитами **Турьего** полуострова и кимберлитовыми трубками **Ермаковского** поля. Высокопрозрачные и прозрачные кристаллы последнего (диатрема **Ермаковская-7** класса 1–2 мм встречены в количестве, позволившем отнести объект к средне-высокоалмазоносным [28, с. 289–293]. Аналогичным образом верхнемеловые кимберлиты (четыреста или около того тел, **Трес Ранчос** алмазоносна) «перемешаны» на площади с карбонатитами (гиганты Каталана, Аракса и др.) в гигантской бразильской провинции калиевого магматизма **Альто Паранаиба**.

Возможность процессов метасоматического обогащения мантии, существования в мантии флюидной фазы, флюидных потоков и связанного с ними мета-

соматоза Владимир Семенович называет мифом (с. 105). «Его появление связано с грубым игнорированием имеющихся экспериментальных и природных данных. В мантии может существовать только фаза расплава, в котором сконцентрированы летучие и другие расплавофильные компоненты». Доминирующие представления А. Е. Рингвуда [8] нацело отвергнуты. Однако именно алмаз помогает продвинуться к истине в научной дискуссии. Стивен Якобсен (Steven Jacobsen) из Северо-Западного университета (г. Эванстон, штат Иллинойс), Г. Пирсон (Graham Pearson) (университет Альберта, г. Эдмонтон), в кристаллах алмаза, вынесенных вулканом из переходной зоны (700 км), впервые выявляют рингвудит (ringwoodite), надежное свидетельство существования в мантии минерала с гидроксильной группой (около 1%) в составе. Всего находок рингвудита, «формы оливина, из которого в основном состоит земная мантия», две из разных регионов США и Канады.

Это уже не расчеты, но фактические материалы приведший этих ученых к рискованному, возможно,

выводу: масса воды в мантии в три раза превышает объем мирового океана Земли. Источником океанической воды признается верхняя мантия [30]. Сейсмографы подтвердили существование залежей рингвудита в переходной зоне между верхними и нижними слоями мантии. На этой глубине температура и давление способствуют выделению воды из минерала. «Это зернистая порода, и вода выделяется в пространстве между конкрециями, как будто минерал потеет» [31].

Согласимся: прямые фактические данные (а 1 % гидроксила это много) надежнее косвенных. Даже в ядерной физике поворотные точки расчетов всегда проверяют экспериментом. Потом рассчитывают («дедукируют») дальше.

Характеризуя природу общих особенностей состава мантии, Владимир Степанович показывает (с. 107), что, согласно гипотезе горячей гетерогенной аккреции, земное ядро образовалось раньше мантии: силикатное вещество Земли никогда не было перемешано в недрах с металлическим. Из-за этого мантийные породы не деплетированы по сидерофильным элементам, хорошо растворимым в железе. Бедность земной мантии умеренно летучими элементами Se, S, Au и т.д. Владимир Степанович объяснил не общепринятой их частичной потерей при повышении T Земли во время гравитационного разделения ядра и мантии [8], а удалением их из зоны роста Земли давлением излучения Солнца.

Глобальное магматическое фракционирование названо главной причиной разнообразия состава пород мантии, содержание кремнекислоты в ксенолитах которой варьирует от 28 до 57 % и более, а сумма щелочей – от сотых долей до 10 – 11 % и (высокощелочные породы) до 15 % и более.

Значителен по объему (с. 383–393) и практически важен как свежий взгляд на проблему раздел «Покровы лампроитидных туфов – коренной источник россыпей с некимберлитовыми алмазами» в Якутии. Он обсуждает происхождение алмазов северного («эбеляхского») типа V–VII разновидностей по классификации Ю. Л. Орлова. Полагают [32, с. 37, 40–47], верхнетриасовые (карнийский ярус) россыпи региона являются первичным коллектором и формировались за счет размыва загадочного коренного источника. «Определение абсолютного возраста трубчатого циркона, ассоциирующего с алмазами эбеляхского типа в современных россыпях, свидетельствует о средне-позднетриасовом возрасте (216–233 млн лет). По данным В. В. Селивановой, средний возраст цирконов карнийского яруса из проанализированных 19 зерен по участку Таас-Ары – 239 ± 17 млн лет, Булкур – 228 ± 6 млн лет».

Коренными источниками эбеляхской разновидности называют кимберлиты, аналогичные венесуэльским или трубки **Орапа** в Ботсване, близкие к архангельским по облегченному изотопу углерода и преобладанию округлых разновидностей крупных классов. По палеогеографическим данным положение источника предполагают на поднятиях Оленекском (восточный

склон) и дельты р. Лена. На последней площади геофизики выделили близповерхностный блок фундамента. На острове Сардах встречены неокатанные глыбы гранитогнейсов до 1,5 м архейского метабазит-плагиогнейсового комплекса (3,2 млрд лет) с «анабарским» простираем структур. Возможно, источником алмазов были протяженные силлы (судя по слабостью изменчивости типоморфизма минералов-индикаторов кимберлитов и масштабов алмазоносности основания карния). Вероятно, они были менее глубинные, чем кимберлиты, глубинных пиропов дунит-гарцбургитового парагенезиса ничтожно мало.

Владимир Степанович увидел в имеющихся материалах возможности собственной оригинальной интерпретации. Вот ход его рассуждений и выводы:

1 – алмазы с неустановленными источниками занимают огромные площади на севере Якутии (400 тыс. км²), в Бразилии (около 8 млн км²), с. 385;

2 – в северных россыпях доли ламинарных (октаэдр, ромбододекаэдр, переходные разновидности) и округлых алмазах возрастают прямо пропорционально, тогда как в кимберлитовых трубках противоположная зависимость. Высокое содержание додекаэдров в россыпях с неизвестным коренным источником характерно и для Бразилии. Из 15 известных ее россыпей в 14 преобладают додекаэдровиды и лишь в одной – октаэдр;

3 – количество додекаэдров резко увеличивается, а плоскогранных октаэдров уменьшается по мере роста содержания SiO₂ во вмещающих кимберлитах и лампроитах. С увеличением в них содержания SiO₂ от 22 до 55 % доля округлых додекаэдров среди алмазов в среднем возрастает от 0 до 80 %, а доля плоскогранных октаэдров уменьшается от примерно 50 до 11 %;

4 – родоначальные магмы коренных источников россыпей северного типа характеризовались высокой кремнекислотностью. Об этом говорит большое количество округлых алмазов, увеличение доли кристаллов V и VII разновидностей. Все эти очень темные округлые индивиды и их сростки содержат во внешней части большое количество включений флюида и графита. Большая кремнекислотность коренных источников согласуется с присутствием в эбеляхских алмазах включений коэсита (высокобарическая форма SiO₂) и ортоклаза;

5 – согласно авторской генетической модели, внешняя оболочка округлых алмазов эбеляхского типа сформировалась на поздней стадии фракционирования перидотитового или пикритового слоев магматического океана, когда в остаточном расплаве накопилось большое количество летучих компонентов. Они захватывались кристаллизовавшимся алмазным веществом, что вело к нарастанию оболочки с флюидными включениями на уже существовавшие кристаллы. На контакте с флюидными включениями происходила графитизация алмазов, что обусловило их темный цвет. В процессе глобального магматического фракционирования большинство таких алмазов образовалось позже округлых кристаллов уральского типа;

6 – изотопный состав углерода остаточных расплавов и кристаллизовавшихся в них алмазов становился более легким в процессе фракционирования магматического океана. Поэтому аномально легкий изотопный состав углерода округлых алмазов эбеляхского типа, в среднем $\delta^{13}\text{C} = -23\text{‰}$, также подтверждает очень позднее образование этих алмазов в мантии;

7 – данные о повышенной кремнекислотности родоначальных магматических пород для округлых алмазом из россыпей с неизвестным коренным источником свидетельствуют: состав этих пород, скорее, соответствует лампроитам или щелочным базальтоидам (в Австралии алмазоносны). В книге названы лампроитоидами;

8 – причина невыявленности источников определена анализом содержания летучих компонентов в данных породах, в согласии с авторской моделью вулканических взрывов (влияние внутреннего давления газов, законсервированных декомпрессионным затвердеванием расплава). Особенности состава лампроитов – значительно меньшее (в 8,4 раза) содержание в них летучих компонентов, особенно углекислоты, по сравнению с кимберлитами. Протяженность кимберлитовых (1,5–2,0 км в среднем) и лампроитовых (150–240 м) диатрем уменьшается с падением содержания летучих компонентов в магмах. Автор видит источниками блюдцеобразные широкие маары с малой частью туфвого материала. Большая его часть, выброшенная в атмосферу, сформировала покровы на поднятиях и во впадинах. Это объяснило размещение россыпей с неизвестными коренными источниками на огромных площадях. Взрыв даже одного алмазоносного лампроитоидного вулкана мог сформировать источники алмазоносных россыпей северной Якутии на всей площади (400 тыс. км²), хотя, скорее, этих вулканов было больше;

9 – часть алмазов, вследствие высокого удельного веса, могла частично погружаться в кору выветривания подстилающих пород. Это объясняет присутствие алмазов в породах, которые не могли быть их коллекторами (единичные алмазы в коре выветривания кембрийских доломитов);

10 – алмазоносные лампроитоидные диатремы глубиной в первые сотни метров даже при «молодом» их возрасте были уничтожены эрозией, поскольку эрозионный срез якутских кимберлитовых трубок достигает 400 м, а африканских – 1,5 км. Это объясняет бесплодность поисков высокоалмазоносных тел;

11 – главным коренным источником алмазов были не кимберлитовые и лампроитовые трубки, а туфы и туффзиты (аналоги в Красновишерском районе Урала). Также на площади **Жуина** в Бразилии обнаружен слой пепловых туфов и туффзитов (0,52 м), содержащий в среднем 0,66 кар/м³ алмазов. Отмечена и пространственная связь наиболее богатых россыпей р. Эбелях с эрозионно-карстовыми депрессиями выполненными глинистым кварц-полевошпатовым песчаным материалом, схожим с сильно латеритизирован-

ным песчаным туфом. В нем содержатся «северные» алмазы. Часть депрессий образовалась карстированием трещиноватых участков подводящих каналов лампроитоидных диатрем и выполнена переотложенными и измененными туфами.

Идеи Владимира Степановича уже нашли признание у исследователей Эбеляха, где на площади 2 тыс. км² сосредоточено 52,3 % всех запасов россыпных алмазов России (на севере Якутии их 68,3 %). Прослой в базальных отложениях карьера р. Балкур (содержания алмазов до 11,58 кар/м³, много пиропов) стал рассматриваться после публикаций автора как сложенный туффзитами. Вторым центром алмазоносных эксплозий Владимир Степанович назвал верховья р. Оленек.

Свежая мысль, что хорошо само по себе. Однако, хотя автор с осторожностью упоминает туффзиты как источник алмазов Урала, заметим: знающие Пермский край специалисты обычно не принимают туффзитовую гипотезу всерьез, по меньшей мере, по причинам: 1 – отсутствия на западном склоне Каменного пояса проявлений лампроитового магматизма; 2 – полного отсутствия магматогенных минералов в алмазоносных породах – глины (80 % иллита) с примесью песчаного материала из кварцевых песчаников; 3 – литологическому контролю, нахождению алмазоносных глин только в кварцевых песчаниках – их нет в карбонатных породах вопреки предполагаемой эруптивной природе туффзитов [33].

В Бразилии на площади 8 млн км² имеется единственный неизвестный источник алмазов? Их, как минимум, там три: самый древний, несущий карбонато-рифейские алмазоносные «филлиты», протолит которых загадочен; источник сверхглубинных зерен полезного компонента Сан-Луиса, штат Мату-Гросу.

Последние содержат необычные включения (феррипериклаза-(Mg,Fe) O, вюстит, стишовит (Si O₂), пироп-альмандин; встречен сросток пироп-альмандина со стишовитом и перовскитом), отличаются очень низким содержанием азота, имеют $\delta^{13}\text{C}$ около 5 ‰. Для включения перовскита (Ca, Na, Ce) x (Ti, Nb, Fe)O₃ отмечена положительная корреляция между никелем и отношением Mg / Mg+Fe. Эти признаки позволили А. Д. Харькиву показать, что включения образовались в нижней мантии на глубине 670 км. Плюс плохо изученный четвертый, коматиитовый во Французской Гвиане.

Владимир Степанович в качестве примера алмазоносных туфов привел площадь **Жуина** в позднемеловой магматической пров. Альта Паранаиба, где слой алмазоносных пепловых туфов и туффзитов имеет мощность 0,52 м. Возможно, ему лучше было бы обратиться к Заирскому району **Бакванга** у г. Мбужи-Майя, где на площади в несколько км² сконцентрированы запасы алмазов > 1 млрд карат (> 200 т), из которых к 1995 г. 160 т уже были извлечены. Трубки полей **Бакванга** (10 диатрем) и **Калонжа** (5 диатрем) имеют выраженную тектоническую предопределенность, располагаясь цепочкой вдоль широтного раз-

лома. Содержания алмазов в этих весьма необычных трубках достигает 1000 карат/м³. Необычность определена наличием у многих тел широкого раструба, площадью до 32 га при узком (100 м) подводящем канале. *Сами кимберлиты, скорее, напоминают песчаники или гравелиты, насыщены каолиновыми нодулами и совсем не похожи на обычные породы этого типа, отчего их десятки лет не могли правильно диагностировать.* Интересны и минералы-спутники алмазов (мегакристы): малохромистые пиропы, флогопит, пикроильменит, циркон, корунд, кианит. Встречены рутил-силикатные прорастания до 4,5 см, титанистый бадделит ZrO₂, нодулы с прорастаниями хлорита и кварца.

Возраст предполагаемого источника северных алмазов Владимир Степанович, вслед за С. А. Грахановым, признает триасовым по результатам датирования трубчатых цирконов. Но чем доказано, что цирконы из того же искомого источника, что и алмазы Эбеляхского типа? Ведь в россыпях встречены и типичные кимберлитовые ламинарные индивиды из триасовых трубок, которых в Анабарской субпровинции немало (*Дьянга* и др.).

Так что пусть нам и здесь поможет Сократ: «Если вам ответили молчанием, это еще не значит, что вам не ответили».

Проблема большая. Рецензенты в свое время [34, 175–177] тоже не удержались от участия в дискуссии по захватывающей теме генезиса эбеляхских алмазов. Ведь нынешняя северо-восточная окраина Анабарского щита, в пределах которой расположен ореол неокатанных алмазов “эбеляхского типа”, в раннепротерозойский этап имела немало общих особенностей с областью *Дашень* (Dachine) Французской Гвианы. В обоих случаях древние архейские консолидированные структуры – протоплатформы, – оказались рассеянными протяженными линейными структурными формами. На Анабарском щите это были плохо изученные “протоавлакогены”, на Гвианском – “зеленокаменные пояса” типа пояса Инини (Inini, 2,11 ± 0,09 млрд лет), в состав пород которых входили вулканогенные образования. Среди последних, помимо коматиитов, отмечены известково-щелочные *андезиты*, такие же *риолиты*, а также первично осадочные породы. И здесь мы должны вспомнить, что в россыпях неокатанные алмазы “эбеляхского типа” сопровождают на *Нижне-Ленской* площади *андезиты*, *липарито-дациты*, *базальты* и их *туфы неустановленной области размыва*. Это ли не прямое свидетельство того, что необычные алмазы происходят из сложно построенного вулканогенного комплекса (в котором не запрещены алмазоносные коматииты) весьма близкого по происхождению поясу Инини (Inini) Французской Гвианы?

Алмазы двух регионов обнаруживают и прочие черты сходства. В обоих случаях полезный компонент не сопровождают пикроильменит, хромдиопсид, перовскит. Пиропы в коматиитах района *Dachine* представлены лерцолитовыми разностями, с подчиненными количествами гарцбургитовых и эклогитовых.

Встречаются вместе с алмазами *Дашень* (Dachine) и хромиты. Алмазы “эбеляхского типа” в карнийских породах Нижне-Ленского участка также ассоциируют прежде всего с пиропами и хромитами. По данным С. А. Граханова, нижнеленские пиропы (1000 зерен), как и в районе *Дашень*, попадают в поле лерцолитовых разностей (95 %), с разным содержанием хрома, и лишь 3–4 % относятся к алмазной ассоциации.

К сожалению, пока мало известно об облике кристаллов алмаза района *Дашень* (Dachine); указываются только их габитусные формы, типичные для эклогитов (в частности, кубо-октаэдры). Данные по изотопии углерода алмазов из коматиитов Французской Гвианы близки таковым полезного компонента “эбеляхского типа”: вариации δ¹³C от –23 до –27 ‰...

Отметим, что неординарная книга Владимира Степановича наполнена внутренней энергетикой неравнодушного автора. Стали ли рецензенты сторонниками основной и многих прочих его гипотез? Честно скажем, восприняли не все. Полезная ли это, нужная книга? Чрезвычайно! Можно только порадоваться тому, что в наше ... сумбурное время в отечественной науке сохранились энтузиасты с кругозором такого масштаба, способные на столь грандиозный труд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шкодзинский, В. С. Петрология литосферы и кимберлитов (модель горячей гетерогенной аккреции Земли) / В.С. Шкодзинский. – Якутск: Изд. дом СВФУ, 2014. – 452 с.
2. Зинчук, Н. Н. Историческая минерагения / Н.Н. Зинчук, А.Д. Савко, Л.Т. Шевырев. – Т. 1. Введение в историческую минерагению. – Воронеж: ВГУ, 2005. – 281 с; Т. 2. Историческая минерагения древних платформ, 2007. – 507 с.; Т. 3. Историческая минерагения подвижных поясов, 2008. – 624 с.
3. Додд, Р. Т. Метеориты – петрология и геохимия / Р.Т. Додд. – М.: Мир, 1986. – 382 с.
4. Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (ИФЗ РАН) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ifz.ru/istorija/oju-shmidt/> (Дата обращения 14.07.2013)
5. Сафронов, В. С. Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет / В. С. Сафронов. – М.: Наука, 1969. – 244 с.
6. Lebrun, T. Thermal evolution of an early magma ocean in interaction with the atmosphere / T. Lebrun, H. Massol, E. Chassefiere [et al.] // J. of Geoph. Research: Planets, 2013. – V. 118. – P. 1155–1176.
7. Маракушев, А. А. Эндогенная природа Логойской взрывной кольцевой взрывной кольцевой структуры в Белоруссии / А.А. Маракушев, В.Ф. Белый // ДАН, 2002. – Т. 383. – № 4. – С. 512–515.
8. Рингвуд, А. Е. Происхождение Земли и Луны / А.Е. Рингвуд – М.: Недра, 1982. – 284 с.
9. Кольская сверхглубокая закрыта, новость 2008 года [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sci-lib.net/index.php?showtopic=7620> (Дата обращения 23.06. 2013)
10. Зинчук, Н. Н. Петрофизика кимберлитов и вмещающих пород / Н. Н. Зинчук, А. Т. Бондаренко, М. Н. Гарат. – М.: Недра, 2002. – 695 с.
11. Мальков, Б. А. Импактное происхождение карбонадо / Б.А. Мальков, А.М. Асхабов // Изв. Коми научного центра УрО РАН. – Сыктывкар, 2010. – В. 2. – С. 40–43.
12. Pearson, D. G. Hydrous mantle transition zone indicated by ringwoodite included within diamond / D.G. Pearson,

- F.E. Brenker, F. Nestola [et al.] // Nature, 13 March 2014. – 507. – P. 221–224.
13. Hofmeister, A. M. Effect of Hadean terrestrial magma ocean on crust and mantle evolution / A.M. Hofmeister // J. Geophys. Research, 1983. – V. 988. – N 6. – P. 4963–4983.
14. Федорин, Я. В. Модель эволюции ранней Земли / Я.В. Федорин. – Киев: Наукова думка, 1991. – 112 с.
15. Agee, C. B. Mass balance and phase density constraints on early differentiation of chondritic mantle / C. B. Agee, Walker D. // Earth Planet Sci. Letters, 1988. – V. 90. – P. 144–156.
16. Honda, R. Numerical simulation on Earth's core formation / R. Honda, H. Mizutani, T. Jamamoto // J. Geophys. Research, 1998. – V. 988. – N 2. – P. 2075–2089.
17. Фролов, А.А. Карбонатиты и кимберлиты (взаимоотношения, минерогения, прогноз) / А. А. Фролов, А.В. Лапин, А.В. Толстов [и др.]. – М.: НИИ «Природа», 2005. – 540 с.
18. Zozulya, D. Geochemistry and mantle sources for Archean alkaline rocks from Greenland, the Baltic, and Northern Norway / D. Zozulya, T. Bayanova, N. Eby [et al.] // A review of the Archean alkaline magmatism of the Baltic-Greenland. [Электронный ресурс]. URL: <http://faculty.uml.edu/nelson.../33IGCPresentation-Zozulya%20et%20al.pdf...> (Дата обращения 15.06.2014)
19. Cavell, P. A. Archean magmatism in the Kaminak Lake area, District of Keewatin, Northwest Territories: ages of the carbonatite-bearing alkaline complex and some host granitoid rocks / P. A. Cavell, J. R. Wijbrans, H. Baadsgaard. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/.../e92-076> (Дата обращения 27.04.2013)
20. Магматические горные породы. Ультраосновные породы [О.А. Богатиков, Ю.Р. Васильев, Ю.И. Дмитриев [и др.]]. – М.: Наука, 1988. – 508 с.
21. Кривонос, В. Ф. Относительный и абсолютный возраст кимберлитов / В. Ф. Кривонос // Отеч. геол., 1997. – № 1. – С. 41–51.
22. Kesler, Stephen E. Uplift and erosion are the dominant control on the temporal distribution of ore deposits / Stephen E. Kesler, Bruce Wilkinson // Understanding the genesis of ore deposits to meet the 21-st century, 12-th Quadrennial IAGOD Symposium, Moscow, 21–24 August. – 2006. – Abstracts. – V. 3. – P. 377.
23. Carbonatites [Электронный ресурс]. URL: <http://www.newark.osu.edu/facultystaff/personal/jstjohn/.../Carbonatites.html> (Дата обращения 07.02.2013)
24. Харькив, А. Д. Коренные месторождения алмазов Мира / А. Д. Харькив, Н. Н. Зинчук, А. И. Крючков. – М.: Недра, 1998. – С. 506–528.
25. Гаранин, В. К. Минералогия кимберлитов и родственных им пород алмазоносных провинций России и связи с их генезисом и поисками: автореф. дис. ... докт. геол.-минер. Наук / В. К. Гаранин. – М.: МГУ, 2006. – 30 с.
26. Shatsky, A. Diamond crystallization in carbonate-silicate systems: Implications for natural diamond genesis / A. Shatsky, Yu. M. Borisov, A. G. Sokol // 9-th International Kimberlite Conference Extended Abstract, 2008. – N 91RC-A-00408.
27. Location and terrain [Электронный ресурс]. URL: http://argylediamonds.com.au/docs/gems_and_gemology.pdf (Дата обращения 17.06.2013)
28. Гавриленко, Б. В. Терский рудный район. Кейвский рудный район / Б. В. Гавриленко // Геология рудных районов Мурманской области, Апатиты, 2002. – С. 284–294.
29. Колотухина, С. Е. Геология и экономика месторождений редких элементов государств Индия и Шри-Ланка / С. Е. Колотухина, В. М. Моралев, Г. А. Топунова [и др.]. – М.: Наука, 1975 – 152 с.
30. Pearson, D. G. Hydrous mantle transition zone indicated by ringwoodite included within diamond / D. G. Pearson, F. E. Brenker, F. Nestola [et al.] // Nature, 13 March 2014. – 507. – P. 221–224.
31. В мантии Земли найдены гигантские запасы воды [Электронный ресурс]. URL: http://www.bbc.co.uk/russian/science/2014/06/140613_massive_water_reservoir.shtml (Дата обращения 15.01.2014)
32. Граханов, С. А. Россыпи алмазов России / С. А. Граханов, В. И. Шаталов, В. А. Штыров [и др.]. – Новосибирск: ГЕО, 2007. – 457 с.
33. Структурная позиция туффзитов Колчимского поднятия, западный склон Урала. [Электронный ресурс]. URL: <http://oborudka.ru/handbook/698.html> (Дата обращения 12.03.2014)
34. Зинчук, Н. Н. Тектоника и алмазоносный магматизм / Н. Н. Зинчук, А. Д. Савко, Л. Т. Шевырёв. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2004. – 282 с.

Воронежский государственный университет

Шевырёв Л. Т., ведущий научный сотрудник НИИ Геологии ВГУ, доктор геолого-минералогических наук
E-mail: shevpp@yandex.ru
Тел. 8 (473) 235-39-42

Voronezh State University

Shevrev L. T., leading scientific Associate of the VSU Institute of Geology, doctor of the Mineralogical and Geological Sciences.
E-mail : shevpp@yandex.ru
Tel.: 8 (473) 235-39-42