

ДИСКУССИИ

УДК 552.3(571.642)

Э.Н. ЭРЛИХ

КАНОН ШТИЛЛЕ И МАГМАТИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Установлено существование коротких (1–2 млн. лет) импульсов резкой интенсификации магматической и тектонической активности, соответствующих фазам канона Штилле. Небольшие по объему тела ультраосновных-щелочных пород внедряются одновременно в самых различных районах мира. Огромные по масштабу массы плато-базальтов в ходе каждого единичного эпизода извергаются в пределах одного или в крайнем случае нескольких районов. Импульсы интенсификации магматических процессов осложняются способностью магмы устойчиво существовать на глубине в течение геологически длительного времени.

К л ю ч е в ы е слова: канон Штилле; импульсы тектонической и магматической активности; пульсации Земли.

Канон Штилле в исторической перспективе

Цель исследования — оценка степеней синхронности геологических событий (фаз горообразовательного процесса и импульсов магматической активности) и равномерности проявления геологических событий во времени. Общий подход к этой проблеме сформулирован в так называемом каноне Штилле [43]. Х. Штилле установил существование 22 коротких (несколько миллионов лет) глобальных фаз складчатости. В более поздней работе [44] Х. Штилле выделяет три больших периода (мегациклы или великие обновления), резко отличающиеся от фаз складчатости по продолжительности и интенсивности.

Канон базировался на неполных геологических данных и биостратиграфической корреляции и формулировал общую синхронность эпох тектонической трансформации. Непосредственно после публикации канон стал исключительно популярен и при исследовании белых пятен на геологической карте Земли некритично использовался как основа для межрайонных стратиграфических сопоставлений наряду с данными биостратиграфии.

Возражения против канона в значительной степени возникли в результате его некритического использования, в частности, допущения повсеместного проявления каждой из предполагаемых эпох складчатости [17,31].

Отрицание синхронности глобальных импульсов деформации пород и магматизма было основано на биостратиграфической корреляции. Во всех случаях, когда временная корреляция событий тектонической истории и магматических импульсов

базировалось на радиометрических датировках, идея синхронности подтверждалась [5, 12].

Увлечение длительностью и непрерывностью геологических процессов привело к принятию идеи «перманентности» тектогенеза в противоположность идее дискретности тектонических напряжений в эволюции Земли. При этом никем, включая самых активных противников канона, не отрицалось существование синхронных, объединяющих несколько фаз эпох тектонической активизации: ассинтская, каледонская, герцинская, киммерийская и альпийская.

В России в 60–70е гг. XX века сторонники существования коротких глобальных фаз прямо обвинулись в «неокатастрофизме» и «штиллеанстве».

Принципиальная актуальность и значимость канона была признана в коллективной монографии [9].

Открытие на океаническом дне глобальной системы линейных магнитных аномалий [46] и последующее создание теории тектоники плит привело к возврату идеи равномерного распределения скорости магматических и тектонических процессов в ходе геологической истории и заслонило идеи канона Штилле.

Новые повороты идеи

Принципиально новая база для оценки и проверки канона создала представления о том, что деформации коры связаны с глубинными процессами, протекающими в мантии или даже на границе мантии и ядра Земли. При этом главной основой для временных сопоставлений событий стали ра-

диометрические датировки. Установлено, что радиологические датировки гранитоидов, время внедрения которых по общепринятым представлениям отражает эпохи тектонических перестроек и горообразования, совпадают с выделенными Х. Штилле фазами складчатости. В равной мере это относится и к калий-аргоновым датировкам слюд из метаморфических пород, омоложенных при прогреве в ходе становления подвижных поясов. Это отражает «переустановку» аргоновых часов в ходе орогенических процессов.

По мере накопления данных появилась серия работ, оценивающих наличие пиков радиометрических датировок, свидетельствующих об интенсификации магматических и тектонических событий. Пики на гистограммах радиометрических датировок традиционно интерпретируются как показатель резкой интенсификации процесса внедрения магмы или горообразования. Само признание существования коротких глобальных эпизодов, характеризующихся отсутствием радиометрических датировок, изначально ставилось под сомнение [15, 19, 24, 27, 30].

Первые попытки сопоставления радиометрических датировок гранитоидов с предполагаемыми Х. Штилле фазами складчатости блестяще подтвердили канон. Г. Гастил [30] показал, что на гистограмме, составленной на основании 477 изотопных датировок, выполненных различными методами, присутствуют отчетливо выраженные максимумы, совпадающие на разных континентах. К тому же выводу пришли и Л. Олдрич и Г. Уезерил [19]. Вскоре эти выводы были подтверждены Р. Дирнли [27] на материале 3600, а позднее и 5000 датировок. Детальное обобщение новейших данных радиометрических датировок с фазами канона Штилле проведено М. Рубинштейном [15]. Сопоставление планетарной гистограммы Rb-Sr датировок [24, 27] с данными K-Ar датировок показывает их совпадение, что свидетельствует о реальности выделяемых планетарных мегациклов, полученных на основе данных различных геохронометров.

Неравномерность распределения изотопных датировок во времени была отмечена в первых сводках. Максимумы гистограмм, согласно общепринятой интерпретации, отвечали импульсам интенсификации эндогенной активности, а минимумы — эпохам минимального притока эндогенной энергии в кору. Цикличность указывает на существование длительных перерывов в активном магматическом и метаморфическом минерагенезе, т. е. циклические явления совершенно иного порядка, чем те орогенические циклы, которые имел в виду

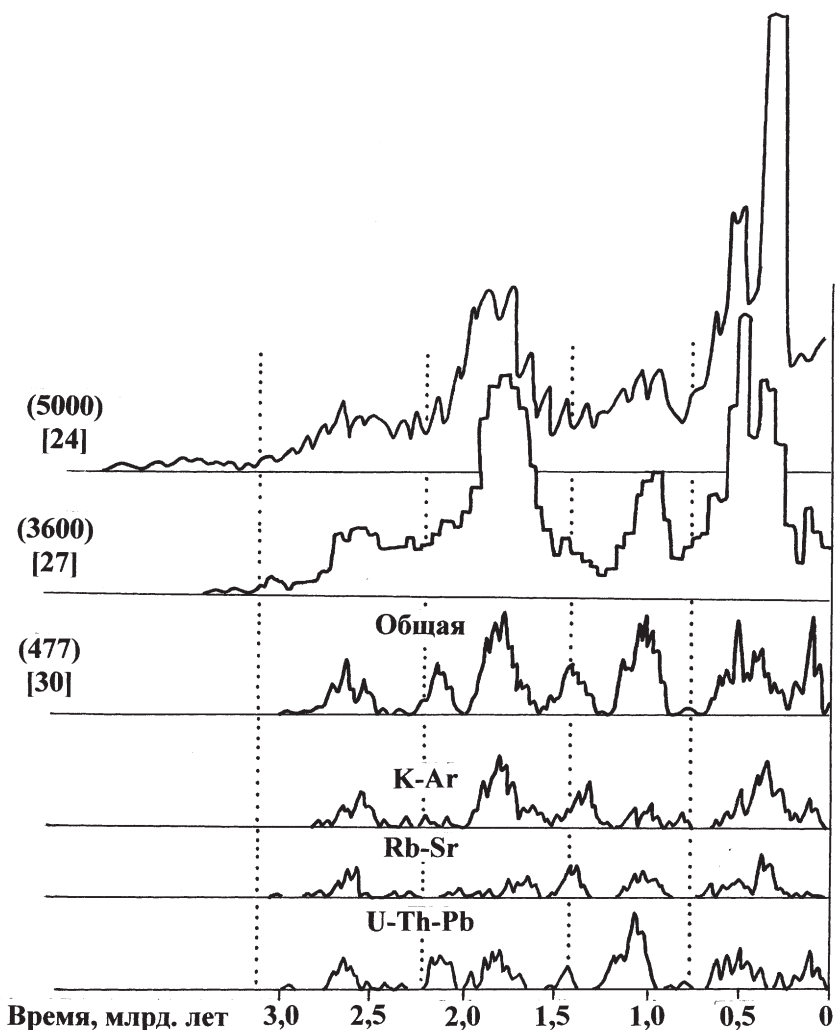


Рис. 1. Ритмические вариации интенсивности эндогенной активности, выраженные на глобальных гистограммах радиометрических датировок (по [14] с изменениями); в скобках — число датировок; штрих-пунктир — продолжительность мегациклов

Х. Штилле для посткембрийского этапа [30]. Принципиально новым элементом являлись резкие вариации общего числа радиометрических датировок во времени. На суммарной гистограмме, составленной по планетарным данным четко выделяются шесть планетарных мегациклов усиления магматических и метаморфических процессов (рис. 1).

Наличие важнейших планетарно-синхронных тектономагматических рубежей, характеризующихся резкой сменой тектонического режима, эмпирически установлено и повсеместно признано. Но абсолютно новым явилось выявление интервалов времени, для которых радиометрические датировки каких-либо магматических или метаморфических пород отсутствовали. Пики на гистограммах радиометрических датировок традиционно интерпретируются как показатель резкой интенсификации процесса внедрения магмы или горообразования, само признание существования коротких глобальных эпизодов, характеризующихся отсутствием радиометрических датировок, изначально ставилось под сомнение. Явление это не может быть объяснено одновременным исчерпанием магматических очагов, а его планетарный характер от-

мечен для гистограмм радиометрических датировок докембрийских комплексов [14]. Существование таких эпизодов особенно значительно для докембрийских комплексов, корреляция которых почти исключительно основана на изотопном датировании, и число радиометрических датировок измеряется несколькими тысячами. Это явление было объяснено конвекцией на границе мантии и ядра [42]. Позднее аналогичное явление отмечено для алмазосодержащих комплексов [29]. Поскольку в этом случае рассматривались не все типы радиометрических датировок, а лишь относящиеся к специфическим алмазосодержащим формациям, эпизоды отсутствия радиометрических датировок указывали на резкие вариации давления. Для объяснения данного явления была предложена гипотеза глобальных эпизодов сжатия земной коры, не допускающего подъема магмы к поверхности.

Оценить степень синхронности геологических событий возможно при исследовании вулканогенных толщ в пределах глобальных подвижных поясов — Циркум-Тихоокеанского и Альпийско-Гималайского, проведенных преимущественно на основе радиометрических датировок. Массовые излияния базальтовых магм, мощные выбросы кислой пирокластики и связанное с ними кальдерообразование синхронны в шкале нескольких сотен и даже нескольких десятков тысяч лет, не говоря уже о том, что импульсы вулканической активности, в противоположность периодам деформации коры, геологически мгновенны.

В соответствии с уровнем геологических знаний в момент создания канона Штилле устанавливал время глобальных импульсов складчатости только в пределах континентов для палеозоя, мезозоя и третичного времени. Какие-либо идеи о существовании коротких глобальных фаз деформации в четвертичное время, в докембрии и в пределах океанов отсутствовали. Изучая стратиграфию четвер-

тичных вулканитов п-ова Камчатка и Курильских о-вов и сопоставляя полученные результаты с выводами по другим районам западной части Тихоокеанского кольца, мы обнаружили полную идентичность данных. Четко наметились короткие, продолжительностью несколько сотен и десятков тысяч лет импульсы. Оказалось, что вулканизм развивается циклично — от массовых трещинных и ареальных излияний базальтов к массовым выбросам кислой пирокластики и ассоциированному с ним кальдерообразованию [18].

Поскольку для докембрия биостратиграфические данные отсутствовали, и разброс радиометрических датировок заведомо перекрывал предполагаемую длительность импульсов активизации, канон не рассматривал этот важнейший интервал геологического времени. Именно для докембрия было отмечено наличие эпох «регенерации», тектонической перестройки и общей переработки материала коры, таких как Свекофенская или Гренвилевская. Рассмотрение докембрийского времени принципиально важно, поскольку вся стратиграфия докембрия базируется на радиометрических датировках, что дало возможность исследовать цикличность в проявлении магматических процессов. На суммарной гистограмме (рис. 2), составленной по планетарным данным, отчетливо выражены шесть мегациклов [14]. Характерно сокращение времени пульсаций в ходе геологической эволюции Земли.

Данные по геологии дна океанов в период создания канона практически отсутствовали. Установленное позднее относительно равномерное распределение линейных магнитных аномалий на дне океана послужило основой для представления о равномерности спрединга [46]. Сегодня выявлен пульсационный характер формирования офиолитовых формаций и связанных с ними метаморфических пород жадеит-глаукофанового метаморфиз-

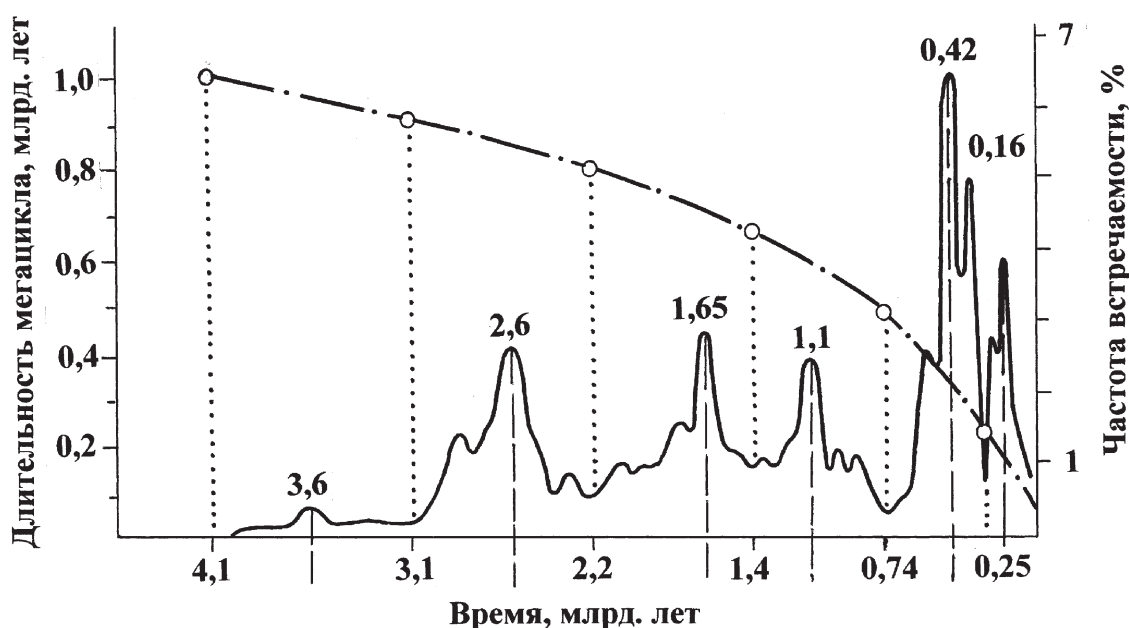


Рис. 2. Мегациклы в геологической истории Земли ([14] с изменениями) в скобках — число датировок

ма на континентах, которые рассматриваются как аналоги океанических зон базальтоидного вулканизма, связанных со срединными хребтами [2]. Это привело к пересмотру идей о равномерном распределении скорости спрединга океанического дна во времени.

Выявлено, что определенные магматические формации типоморфны для определенных типов структур: интрузии гранитоидов типичны для мобильных горных поясов, в противоположность им кимберлиты характерны для стабильных кратонов. Единство времени образования гранитоидов и кимберлитов свидетельствует о ведущей, первичной роли деформаций, одновременно охватывающих разные типы структур. Одновременные импульсы деформации создали условия для внедрения магматических тел. Магмаобразование определяется факторами, связанными с более глубоко залегающими источниками. Одним из таких факторов может служить поток тепла и летучей фазы от верхней границы ядра и мантии Земли.

Гранитоиды связаны с эпохой подъема орогенных поясов. Четко установлена ассоциация кимберлитов с временем кратонизации платформ. На этой основе было сформулировано правило Клиффорда [23]. Анализ данных позволил распространить это правило не только на древние платформы, но и на срединные массивы [29].

Методологическая база проверки и переоценки канона

В качестве основы использовались несколько составленных автором сводок радиометрических датировок алмазоносных комплексов пород, а также всех опубликованных радиометрических датировок постэоценовых магматических и метаморфических пород (0—40 млн. лет). Более 3800 датировок распределены на группы по структурно-однородным районам, характеру петрологических признаков (вулканические и интрузивные), химизму (табл. 1 и 2).

Параллельно использовалась сводка датировок алмазоносных комплексов — кимберлитов, лампроитов, ультраосновных массивов типа интрузии Бени Бусера (Марокко) [38]. Резкие различия этих комплексов по составу и происхождению очевидны, но их объединяет принадлежность к алмазной фации, свидетельствующая о высоких давлениях при их формировании.

Основной источник данных об извержениях платобазальтов во времени и пространстве — работа [39]. Она дополнена данными более поздних исследований [1, 26, 28, 32, 45, 47].

Контурь предлагаемой концепции

Кимберлиты образуются в ходе коротких планетарных импульсов (табл. 1, 2). Районы их проявления не совпадают с границами литосферных плит. Высокая (0,8—0,95) корреляция времени проявления щелочного магматизма, подсчитанная на основе сводки опубликованных датировок в текто-

нически различных обстановках показывает, что импульсы эти не зависят от тектонических условий в верхней части литосферы. Так, из таблиц 1, 2 следует, что щелочной вулканизм одновременно проявляется в тыловой зоне островных дуг, стабильных блоках (срединных массивах) и в передовой зоне подвижных поясов. Вероятна связь импульсов магматизма с наиболее глубинными горизонтами земных глубин, скорее всего, на внешней границе ядра и мантии [28].

Пульсация, по всей видимости, происходит на двух различных уровнях: внешней границы ядра и мантии, откуда осуществляется серия последовательных импульсов усиления теплового потока, и коры, в пределах которой систематически генерируются условия общего сжатия, определяющие интервалы резкого ослабления эндогенной активности.

Признание сверхглубинного источника потока летучей фазы устраняет коренное противоречие между представлениями о мантийном источнике магм и установленным по геофизическим данным кристаллическим состоянием мантии [21].

Оно также прямо указывает на предполагаемый источник «тепловой машины», которая приводит в движение плиты. Кроме того, это дает возможность включить в общую картину различные типы «внутриплитного» магматизма, остающиеся за рамками теории плит и не связанные напрямую с плейт-тектоникой. Подобный подход соответствует идеям о том, что именно внешняя граница ядра является уровнем, на котором генерируется поток летучих, в конечном итоге и определяющим всю совокупность эндогенных процессов [10].

Образование магм и их внедрение в верхние горизонты сопровождается преобразованием коры и изменением ее структур — кратонизацией стабильных блоков и образованием мобильных поясов горообразования.

Высокие значения коэффициентов корреляции между радиометрическими датировками гранитов и кимберлитов показывают, что отмечаемый пульсационный режим определяется тектоникой (вернее обуславливающими ее процессами). В пределах мобильных поясов глобальные импульсы тектонического стресса проявляются в форме внедрения гранитных интрузий и в омоложении радиометрических датировок метаморфических пород. В пределах стабильных блоков образуются системы трещин, вдоль которых внедряются кимберлитовые тела.

Сравнение времени различных типов тектонических преобразований со временем проявления ультраосновного-щелочного магматизма позволяет определить уровень, на котором генерируются эти типы эндогенной активности на границе ядра и мантии.

Сопоставление времени формирования различных типов алмазоносных магматических комплексов показало, что они образуются в ходе синхронных импульсов магматической активности, разделенных интервалами, для которых характерно практически полное отсутствие радиометрических датировок.

Постверхнемеловые (0–65 млн. лет) эпохи тектонических перестроек, извержений плато базальтов, внедрения пород алмазной фации (кимберлитов, лампроитов, интрузий ультраосновных пород)

ВРЕМЯ, млн. лет	Регионы/Провинции						
	Европа	Азия	Северная Америка	Южная Америка	Африка	Австралия	Антарктика
0–2	ВАЛАХСКАЯ ОРОГЕНИЯ, 2 МЛН. ЛЕТ Римская щелочная провинция. Ультраосновные и щелочные базальты Швабии, 0–2 млн. лет	АКТИВНЫЕ ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ОСТРОВНЫХ ДУГАХ, ИНТРАКОНТИНЕНТАЛЬНЫЕ ГРАБЕНЫ	Лампроиты Лейцит Хилл, Вайоминг, 1–3,1 млн. лет	Щелочной вулканизм на островах к востоку от побережья Бразилии, 0–2,5 млн. лет	ИНТЕНСИВНЫЙ РИФТОГЕНЕЗ В ВОСТОЧНО-АФРИКАНСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЕ Карбонатитовый и щелочной вулканизм Восточной Африки, 0–2 млн. лет	Австралия	Лампроиты Гауссберг, 0,056±0,005 млн. лет
3–4	Отсутствие или редкость радиометрических датировок						
5–9	РОДОПСКАЯ ОРОГЕНЕТИЧЕСКАЯ ФАЗА, 5 МЛН. ЛЕТ Щелочные базальты Франшии, 4–8 млн. лет Лампроитовая провинция Мурсия-Альме-рия и Кампус де Калатрава, Испания, 5,7–10,8 млн. лет, 6,4–8,6 млн. лет	Щелочные базальты в тыловых зонах островных дуг				Рассеянные тела лейцититов Нового Южного Уэльса, 6–16 млн. лет	
10–12	Отсутствие или редкость радиометрических датировок						
12–14	АПТИЧЕСКАЯ ОРОГЕНИЯ В АЛЬПАХ, 10–12 МЛН. ЛЕТ	ОРОГЕНИЯ В СЕВЕРОВОСТОЧНОЙ ЯПОНИИ, 12–14 МЛН. ЛЕТ				Рассеянные тела лейцититов Нового Южного Уэльса 6–16 млн. лет	
13–16	Лампроиты Саско, Италия, 13,5–15,4 млн. лет	Щелочные диатремы Памира, 14–16 млн. лет					
16–20	Штирийская орогения в Альпах, 16–20 млн. лет		Платобазальты р. Колумбия, США, 17 ± 1 млн. лет				
21–23	Отсутствие или редкость радиометрических датировок						
22–24	САВСКАЯ ОРОГЕНЕТИЧЕСКАЯ ФАЗА В АЛЬПАХ, 24–28 МЛН. ЛЕТ Ультраосновные вулканы и щелочные базальты Швабии, Германия, 22–24 млн. лет	ОРОГЕНИЯ В ГИМАЛАЯХ, ЭКСПАНСИЯ СИСТЕМ ОСТРОВНЫХ ДУГ ПО ПРОСТИРАНИЮ, 24 МЛН. ЛЕТ Лампроиты Памира, 24 млн. лет	Кимберлиты районы плато Колорадо, 20–22 млн. лет	Щелочные базальты о. Фернандо ди Норонья, 22 млн. лет	Рассеянная ультраосновная интрузия Бени Бусера, Мадрида, 23 млн. лет Посткальдерный вулканизм в комплексе Кисингери, Кения, 22,5±0,4 млн. лет	Лампроиты района Западного Кимберли, 17–24 млн. лет	
25–28	Отсутствие или редкость радиометрических датировок						
30–32	ПИРЕНЕЙСКАЯ ОРОГЕНЕТИЧЕСКАЯ ФАЗА, 34–36 МЛН. ЛЕТ Лампроиты Сессия-Ланно, 29–33 млн. лет		Кимберлиты и минералы вокруг плато Колорадо, 28–32 млн. лет				

ВРЕМЯ, млн. лет	Регионы/Провинции					Антарктика
	Европа	Азия	Северная Америка	Южная Америка	Африка	
34–36	Ультраосновные вулканы Германии, 36 млн. лет		Кимберлиты вокруг плато Колорадо, 34–38 млн. лет		Посткальдерные карбонаты комплекса Кисингири, Кения, 33±5 млн. лет	Вторая фаза плато-базальтов на плато Кергелен
36–40	Отсутствие или редкость радиометрических датировок					
41–50			Кимберлиты Британской Колумбии			
51–65	Плато базальты Британо-Арктической провинции, 62±2 млн. лет	Плато базальты Раджамахала, Индия, 66±2 млн. лет	Кимберлиты Британской Колумбии	Щелочной комплекс Рио де Жанейро, Бразилия 59–70,5 млн. лет		

Примечание. Выделено различными шрифтами: **БАТСКАЯ ОРОГЕНИЯ, 155–178 МЛН. ЛЕТ** — орогенетические фазы и стадии омоложения радиометрических дат; **Лампроиты Сессия-Ланцо Италия, 29–33 млн. лет** — внедрение ультраосновных-щелочных магматических пород; плато базальты Тунгусской синеклизы Сибирская платформа, 250 млн. лет — извержения плато базальтов.

Отмечаемая интенсификация частоты импульсов магматической активности либо отражает точность датировок, либо свидетельствует об общем ускорении активности жизни планеты в ходе геологического времени.

Радиометрические датировки щелочных пород Австралии за последние 40 млн. лет обладают высокой корреляцией со временем тектонической активности Альп (0,87) и Гималаев (0,67).

Исключительно высокая корреляция времени внедрения гранитных интрузий и кимберлитов показывает, что обе формации магматических пород связаны с принципиально различными типами структур: гранитоидные интрузии традиционно ассоциируют с горообразовательными процессами в пределах тектонически подвижных поясов, кимберлиты локализуются в пределах стабильных кратонов. Это четко показывает, что их связь определяется общностью процессов в равной мере охватывающих оба типа структур.

Отмечаются разные по продолжительности периоды усиления вулканической активности. Они повсеместны и, вероятно, длительность их определяется разного рода космическими и глобальными причинами. Периоды могут быть, в частности, связаны с глобальными циклами планетарной активности продолжительностью в несколько тысяч и несколько десятков тысяч лет [36] или вариациями солнечной активности. С последними, возможно, связано наличие 15-летних периодов глобального усиления вулканической активности, разделенных периодами относительного затишья примерно той же продолжительности [3].

Пример одной из орогенетических фаз

Рассмотрение одной из орогенетических фаз (22–24 млн. лет) дает возможность представить, как протекают импульсы орогенетической активности и какова степень синхронности событий. В этот период на обоих концах Альпийско-Гималайского мобильного пояса протяженностью несколько тысяч километров происходят вспышки магматической активности. На западе, в Марокко, формируется расслоенный ультраосновной плутон Бени Бусера [38]. На востоке, в Западной Австралии, отмечается вспышка лампроитового вулканизма, с которой связано образование известного алмазного месторождения Аргайл [20]. Датировки обоих комплексов в пределах точности анализа совпадают. В Альпах и Гималаях отмечаются импульсы гранитообразования и омоложение радиометрических датировок метаморфических пород, связанное с импульсом поднятия (рис. 3, 4). На Памире происходит образование лампроитов [4]. Это отражает короткий (1–2 млн. лет) импульс интенсификации геологических процессов, охвативший планету, отвечающий, скорее всего, Савской фазе канона Штилле (24–28 млн. лет).

Мезозойские (65–250 млн.лет) эпохи тектонических перестроек, извержений плато-базальтов и внедрения пород алмазной фации (кимберлитов, лампроитов, интрузий ультраосновных пород)

Время, млн. лет	Европа	Сибирь	Индия и Китай	Северная Америка	Южная Америка	Африка	Австралия	Антарктика
65–80	СУБЕРЦИНСКАЯ ОРОГЕНИЯ, 75–85 МЛН. ЛЕТ.	Кимберлиты Северного Китая, 77–80 млн. лет	НОВОЛАРАМИЙСКАЯ ОРОГЕНИЯ, 65–70 МЛН. ЛЕТ АВЛАКОГЕН БРАЗИЛИЯ Вулканический район Рио де Жанейро, 48–70,5 млн. лет	Лампроиты провинции Уачита, 98–105 млн. лет	АВЛАКОГЕН КРОМАНДЕЛЬ БРАЗИЛИЯ Вулканический район Рио де Жанейро, 48–70,5 млн. лет Лампроиты провинции Кормандель, 80–87 млн. лет			
100–120	НОВОАВСТРИЙСКАЯ ОРОГЕНИЯ, 95–105 МЛН. ЛЕТ	Лампроиты Муруна, Адлан, 115–143 млн. лет	Барбар, Индия, 105–121 млн. лет	ЗАНОВО ОТКРЫТ СВ. ЛАВРЕНТИЯ Шелочные массивы провинции Монтереджиан, Канада, 111±6, 117±9, 120±8 млн. лет	Перерыв в щелочном вулканизме в Бразилии	Карбонатиты Конду в Сиера Леоне, 92140 млн.лет		
120–140		РИФТЫ АДДАНА Центральные щелочные плутоны и кимберлиты Адланской антеклизы, 138 млн. лет			Платобазальты Серра Херал, Бразилия, 130±5 млн. лет Щелочные породы узла Якупиранга, 130 млн. лет Лакколит Саксуаи, 129–144 млн. лет	Платобазальты Карру, Ю. Африка, 135±5млн. лет	Брекчиевая трубка Делегейт, 138±3 млн. лет	
140–160	НОВОКИМБЕРИЙСКАЯ ОРОГЕНИЯ, 140–145 МЛН. ЛЕТ Мончикитовые дайки на Украинском щите, 162–163 млн. лет	Кимберлиты Анабарской антеклизы, 155 млн. лет				Лампроиты Пнил, Постмасбург, Свартругенс, 142–156 млн. лет Кимберлиты Восточного Гриваленда 150–190 млн. лет	Пикритовые базальты Вандаги, 160 млн. лет Комплекс щелочных сиенитов Джингейр, 168±2.5 млн. лет	
160–180	БАТСКАЯ ОРОГЕНИЯ, 155–178 МЛН. ЛЕТ	Кимберлиты Анабарской антеклизы, 183 млн. лет					Кимберлиты Террови, 164–174 млн. лет Кимберлиты Орруру, 170–172 млн. лет	
182–183				РАСКОЛ ГОНДВАНЫ				
185–250	БАТСКАЯ ОРОГЕНИЯ, 220–235 МЛН. ЛЕТ ПФАЛЬЦСКАЯ ОРОГЕНИЯ 235–250 МЛН. ЛЕТ	Платобазальты Тунгуской синеклизы, 250 млн.лет Удзинская провинция, 250 млн.лет, Маймеч-Котуйская провинция, 244–280 млн. лет	Платобазальты на востоке, 200±5 млн. лет Кимберлиты Кентакки, 257 млн.лет щелочные сиениты и карбонатиты массива Айс Ривер, 244–280 млн. лет	Конец образования массива Пао де Акукар, Бразилия,	Платобазальты Юго-Западной Африки, 190± 5 млн. лет	Щелочные базальты Западной Виктории, 193±10, 201.5, 211.5 млн. лет		Платобазальты Антарктики, 170±5, 190±5 млн. лет

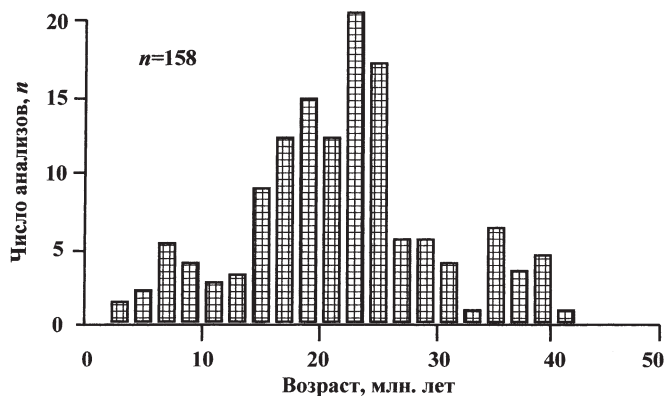


Рис. 3. Гистограмма радиометрических датировок гранитов и омоложенных метаморфических пород Альп; сводка опубликованных постэоценовых радиометрических датировок; n — число анализов

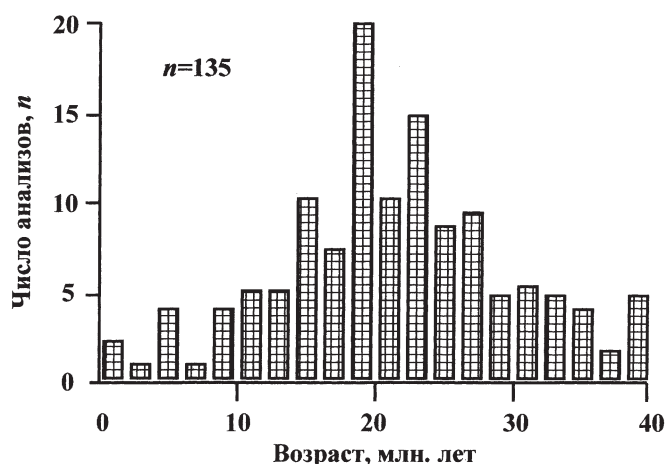


Рис. 4. Гистограмма радиометрических датировок гранитов и омоложенных метаморфических пород Гималаев; сводка опубликованных постэоценовых радиометрических датировок; n — число анализов

Импульсы активизации и магматизм

Рассмотрение особенностей глобальных вулканических событий, связанных с извержениями плато базальтов, с одной стороны, и ультраосновным-щелочным вулканизмом — с другой, дает возможность оценить роль, которую играют объем образовавшейся магмы, ее физико-химические свойства и характер распределения вулканических проявлений в пространстве.

Соотношения плато базальтов и кимберлитов остаются дискуссионными. При всеобщем признании самостоятельности родоначальных магм обоих типов пород несомненна тесная пространственная ассоциация алмазоносных провинций с районами проявления плато базальтов, например, в Южной Африке, Индии, Бразилии и Сибири, Антарктике. В то же время на Русской платформе, в Австралии и Северной Америке какая-либо пространственная связь между образованием алмазоносных комплексов и излияниями плато базальтов отсутствует.

Извержения плато базальтов и ультраосновной-щелочной вулканизм по целому ряду характеристик резко различны. В первую очередь это от-

носится к объему магмообразования. В ходе эпизодов извержения плато базальтов изливалось несколько сотен и тысяч кубических километров магматического материала, концентрирующихся, как правило, в одном районе. В то же время в ходе каждого эпизода кимберлитового-лампроитового вулканизма извергалось не более 1 км^3 [37]. Это отражает диссипативный характер распределения энергии.

В противоположность кимберлитовому-лампроитовому вулканизму плато базальты (траппы) формируются в течение коротких интервалов времени. Радиологические исследования траппов Раджмахала показали, что вся масса базальтовых толщ сформирована в ходе нескольких десятков извержений общей продолжительностью менее 30000 лет [11]. Аналогичные данные получены и для сибирских траппов [32]. К началу мезозоя была сформирована глобальная система рифтов, от которой начали разрастаться океаны. Здесь, в осевых частях растущих океанов, и происходит расширение планеты от подошвы литосферы до ее середины. Сам факт образования огромных по объему толщ вулканитов свидетельствует о мощном импульсе глобального расширения, испытываемом планетой.

Эпизоды проявления кимберлитового-лампроитового магматизма тесно связаны во времени (и в пределах точности датировок совпадают) со временем излияний плато базальтов.

Древнейшие извержения плато базальтов относятся к верхнему палеозою, около 250 млн. лет. Значительная часть полей плато базальтов формируется в связи с эпохами интенсивного растяжения в океанах (табл. 2). Плато базальты Карру в Южной Африке и Антарктиде образовались непосредственно перед предполагаемым временем распада Гондваны и возникновения Индийского океана — около 183 млн. лет. Образование плато базальтов поля Серра Херал в Бразилии и Этендака в Намибии и Анголе совпадает со временем интенсивного спрединга в центральной части Атлантического океана. Плато базальты Эфиопии связаны с расширением рифта Красного моря.

В то же время интервалы извержения плато базальтов практически совпадают с импульсами интенсивных тектонических перестроек и формированием астроблемоподобных кольцевых структур. Так, извержения базальтов р. Колумбия и плато базальтов Эфиопии совпадают с импульсами орогении в Альпах и Гималаях, время формирования плато базальтов Раджмахала и Серра Хераль — с Ново-Ларамийской орогенией в Северной Америке. Одновременно с возникновением двух последних полей плато базальтов образуется гигантская кольцевая структура Чикскулуб в Мексике, а второй эпизод излияния плато базальтов Кергелена одновременно с образованием Попигайской кольцевой структуры на севере Сибири.

Предполагается, что импульсы интенсивной геологической активности могут проявляться в нескольких формах. С одной стороны, это образование огромных масс магматических расплавов и извержение плато базальтов. С другой стороны, проя-

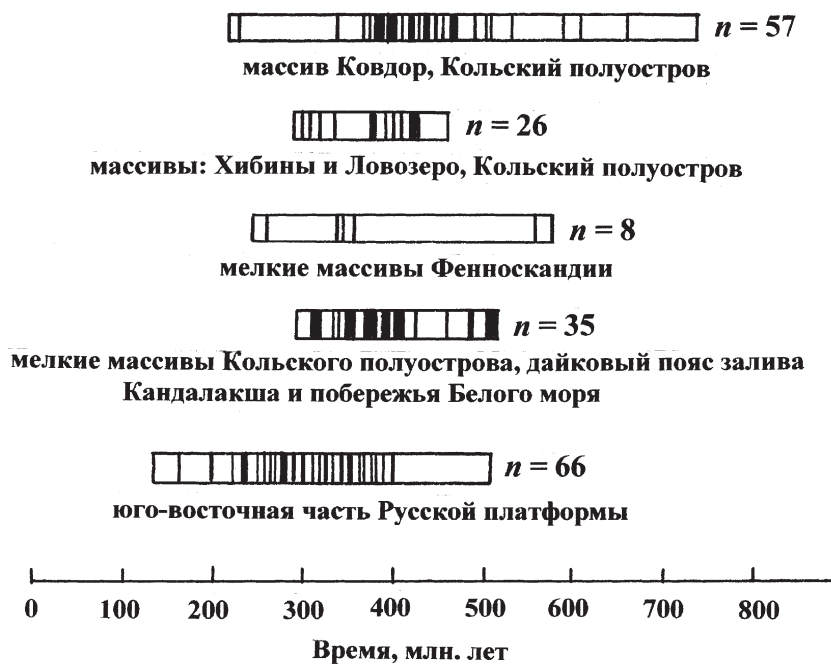


Рис. 5. Разброс радиометрических датировок различных массивов и провинций ультраосновных-щелочных пород Русской платформы ([29] с изменениями): вертикальные штрихи отвечают радиологическим датировкам; n — число анализов

мое поступление к поверхности потоков глубинных газов, приводящее к образованию астроблемоподобных кольцевых структур.

Постоянное совпадение времени формирования огромных масс платобазальтов с импульсами растяжения и тенденция к концентрации извержений платобазальтов в пределах одного района позволяют предположить, что отдельные крупные поля одновременно образованных траппов возникли как результат разделения первоначально единых провинций (Парана в Бразилии и Этендака в Намибии, провинция Карру в Южной Африке и Феррара в Антарктике).

Роль устойчивого существования магм на глубине

Относительно простая картина глобальных импульсов эндогенной активности осложняется возможностью длительного сохранения глубинного тепла в верхних горизонтах мантии и в коре. В первую очередь это относится к магматическим телам, время кристаллизации которых продолжительно.

Массивы гранитоидов формируются в течение нескольких миллионов лет, что соответствует физико-химическим расчетам времени кристаллизации; кристаллизация гранитоидов и время остывания гранитных массивов составляет не более 10 млн. лет. Гранитный батолит Боулдер в Монтане был сформирован в течение 8 млн. лет [34]. Продолжительность формирования единичных массивов и рудных формаций в Якутии колеблется от 8—10 до 20 млн. лет [13]. Для батолита Сьерра-Невада и Берегового батолита Перу установлено, что многофазные плутоны, имеющие сложную внутреннюю структуру, характеризуются более

длительным периодом образования, хотя отдельные фазы кратковременны [22, 25].

Крупным щелочным плутонам (Хибинь и Ловозеро на Кольском п-ове, Гулинский плутон в Восточной Сибири) свойственны радиологические датировки в интервале около 10 млн. лет. В то же время относительно небольшой Ковдорский массив характеризуется разбросом датировок в пределах 400 млн. лет. Аналогичный разброс радиометрических датировок типичен для огромного массива Томтор. Для самых различных провинций Русской и Сибирской платформ характерно единство разброса радиологических датировок щелочных массивов (рис. 5, 6). Сходная картина установлена для Северо-Американской платформы [30]. Начальная точка каждой линии, отражающей отдельным провинциям, отражает момент начала магмообразования, в то время как все остальные отражают импульсы внедрения существовавшей магмы под действием тектонических напряжений в верхние горизонты коры.

Как видно из диаграммы, общий разброс соответствует 200—400 миллионов лет, совпадая с максимальным разбросом радиометрических возрастов для единичных массивов. Это совпадение может быть объяснено единством времени исчерпания тепловых запасов корневых частей рифтов, контролирующих положение отдельных провинций [29].

Все данные о радиологически установленном времени кристаллизации включений в кристаллах алмазов относятся к докембрию и намного больше возраста вмещающих их кимберлитов [33, 40, 41]. Серпентинизированные нодулы из якутских кимберлитов имеют Rb-Sr возраст 741 млн. лет, но Rb-Sr возраст вмещающих кимберлитов вдвое меньше и составляет 360 млн. лет [6].

Заключение

Подтверждается существование коротких (1—2 млн. лет) импульсов резкой интенсификации магматической и тектонической активности, соответствующих фазам канона Штилле. Области проявления импульсов не совпадают с границами плит. Соответственно предполагается, что движущие силы, генерирующие импульсы активности, связаны с уровнем ниже границы литосферы и предположительно расположены на границе ядра и мантии. Импульсы интенсификации разделены периодами затишья (вплоть до полного затухания) эндогенной активности. Импульсы, с которыми связан ультраосновной-щелочной магматизм, проявляются одновременно в различных регионах мира. Объем внедряющихся магматических продуктов в каждом отдельном регионе крайне невелик. В противоположность этому в

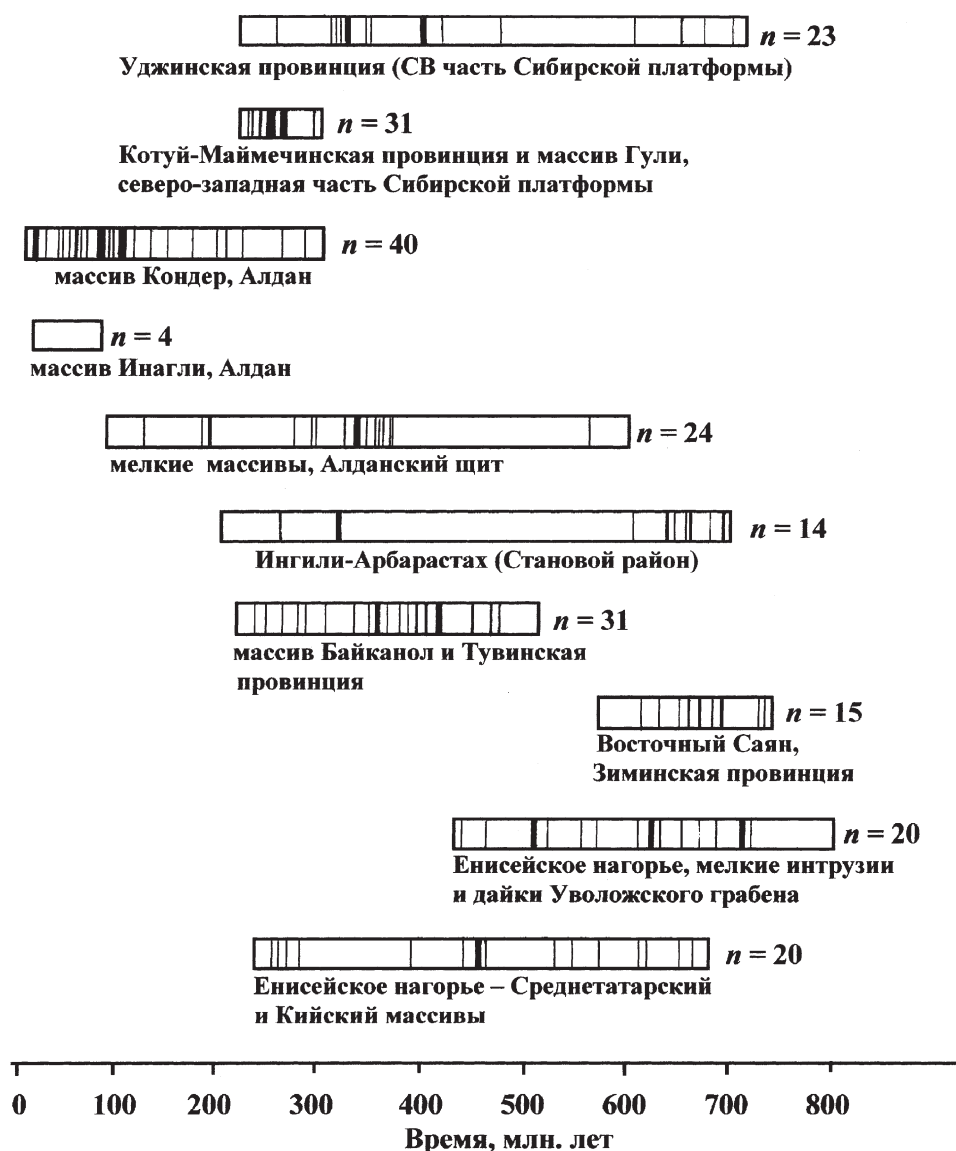


Рис. 6. Разброс радиометрических датировок различных массивов и провинций ультраосновных-щелочных пород сибирской платформы ([29] с изменениями): вертикальные штрихи отвечают радиологическим датировкам; n — число анализов

ходе извержений платобазальтов изливаются огромные массы базальтовых магм. Извержения концентрируются в одном или нескольких регионах, в то время как в остальных отмечается зати-

шие магматической активности. Пульсационный режим осложняется способностью магм существовать на глубине в течение геологически длительного времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов С.В., Лапин А.В., Толстов А.В., Фролов А.А. Минерагенная платформенного магматизма (траппы, карбонатиты, кимберлиты). М.: НИИ-Природа, 2008, 542 с.
2. Богданов Н.А., Добрецов Н.Л. Синхронность активных геологических процессов на континентах и в океанах // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1987. № 11. С. 41—52.
3. Влодавец В.И. Вулканическая активность Земли в историческое время // Современный вулканизм. М.: Наука, 1966. С. 5—16.
4. Дмитриев Э.А. Кайнозойские калиевые щелочные породы Восточного Памира. Душанбе: Дониш, 1976. 170 с.
5. Загружина И.А. Практическая геохронометрия. М.: Наука, 1991. 232 с.
6. Зайцев И.И., Ненашев Н.И., Ковальский В.В., Зольников Г.В., Никишев К.Н. Исследования Rb-Sr системы якутских кимберлитовых пород // Мантий-
7. Кононова В.А. Якупирангит-уртитовая серия щелочных пород. М.: Наука, 1976. 212 с.
8. Кононова В.А., Шанин Л.Л., Аракелянц М.М. Время образования щелочных массивов и карбонатитов // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1973. № 5. С. 25—36.
9. Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 2. Циклическая динамика в природе и обществе / Под ред. Н.П. Лаврова. М.: Научный мир, 1998. 432 с.
10. Ларин В.Н. Наша Земля. М.: Агар, 2005. 248 с.
11. Лучицкий И.В. Основы палеовулканологии. Т. 1. М.: Наука, 1985. 273 с.

12. Милановский Е.Е., Мальков Б.А. Кимберлитовый вулканизм и глобальная пульсация Земли // Докл. АН СССР. 1980. Т. 252. № 5. С. 1205—1207.
13. Ненашев Н.И. Магматизм и развитие рудно-магматических узлов в Восточной Якутии. Новосибирск: Наука, 1979. 142 с.
14. Пушкарев Ю.Д. Мегациклы в эволюции системы кора-мантия. Л.: Наука, 1990. 217 с.
15. Рубинштейн М.М. Орогенические фазы и периоды складчатости в свете данных абсолютной геохронологии // Геотектоника. 1967. № 2. С. 35—49.
16. Фролов А.А., Лапин А.И., Толстов А.В., Зинчук Н.Н., Белов С.В., Бурмистров А.А. Карбонаты и кимберлиты. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. 542 с.
17. Шатский Н.С. О длительности складкообразования и фазах складчатости // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1954. № 1. С. 4—38.
18. Эрлих Э.Н., Мелекесцев И.В. Основные стадии четвертичного вулканизма и тектонических преобразований в западной части Тихоокеанского кольца // Бюлл. МОИП. Сер. геол. 1973. Т. 48. № 3. С. 5—26.
19. Aldrich L.T., Wetherill G.W., Boss M. et al. Mineral age measurements and Earth history // Yb. Carnegie Inst. Washington, D.C. 1960. V. 53. P. 208—221.
20. Allsopp H.L., Bristow J.W., Skinner E.M.V., Scott-Smith B.Y., Danchin R.W. Rb-Sr geochronology of some Miocene West Australian lamproites // Transaction Geol. Soc. South Africa. 1985. V. 88. N 2. P. 341—345.
21. Anderson D.L. Theory of the Earth. Blackwell: 1989, 384 p.
22. Bateman P.C., Eaton J.P. Sierra Nevada Batholith // Science. 1967. V. 158. N 3807. P. 1407—1417.
23. Clifford T.N. Tectonomagmatic units and metallogenic provinces in Africa // Earth and Planetary Science Letters. 1966. V. 1. P. 421—439.
24. Choubert B. Reflexions sur la finalite des mesure geochronologique // Bull. Soc. Geol. France. 1967. V. IX. N 6. P. 809—812.
25. Cobbing J.E. The segmented coastal batholith of Peru: its relationship to volcanicity and metallogenesis // Earth Science Review, Elsevier Publishing Company. 1982. V. 18. P. 241—252.
26. Coffin M.F., Frey F.A., Wallace P.J. et al. Kerguelen plateau — Broken Ridge — a large igneous Province // Proc. O. D.P. Init. Reports. 2000. V. 183 P. 1—181.
27. Dearnley R. Orogenic fold-belts and hypothesis of Earth evolution // Physics Chemistry Earth. 1966. V. 7. 144 p.
28. Erlich E.I., Hausel W.D. Timing of kimberlite magmatism and different diamond-bearing complexes. // 8th International Kimberlite Conference. Program with Abstracts. 2003. P. 74
29. Erlich E.I., Sutherland W.H., Hausel W.D., Zaguzina I.A. Temporal distribution of ultramafic-alkaline rocks within the Russian, Siberian and North American ancient platforms and their surroundings // The Geological Survey of Wyoming, Open-file report. 1989. V. 89. N 9. P. 33.
30. Gastil G. The distribution of mineral dates in time and space // Amer. Jour. Sci. 1960. V. 258. P. 1—35.
31. Gilluly J. Distribution of mountain building in geological time // Geol. Soc. America Bull. 1949. V. 60. N 4. P. 561—590.
32. Kamol S.L., Czamanske G.K., Amelin A., Davis D.W., Trofimov R. Rapid eruption of Siberian flood-volcanic rocks and evidence for coincidence with the Permian-Triassic boundary // Earth Planet. Sci. Lett. 2003. V. 214. P. 75—91.
33. Kirkley M.B., Gurney J.J., Levinson A.A. Age, origin and emplacement of diamonds // Gems and Gemology. 1991. V. 27. N.1. P. 2—25.
34. Knopf A. Time required to emplace Boulder batholith // American Journ. Sci. 1964. V. 262. N 10. P. 1207—1211.
35. Krumm U., Blaxland B., Kononova V.A., Grauert B. Vishnevogorsk nepheline syenites, Urals, USSR, and their time of emplacement during the history of Urals fold belt // Journal of Geology. 1984. V. 4. P. 427—435.
36. Milankovich M. Kanon der Erdbestruhlung und seine Anwendung auf des Enzeien problem. Acad. Roy. Serbe, Ed. Sp., t. CXXXI, sec. De Sci. Math et Nat., t. 383, Belgrade, 1941. 634 p.
37. Mitchell R.H., Bergman S.R. Petrology of lamproites. Plenum Publication. 1991, 447 p.
38. Pearson D.G., Davis G.R., Nixon P.H. Geochemical constraints on petrogenesis of diamond facies pyroxenites from Beni Bousera, Morocco // Journal Petrology. 1993. V. 34. N 1. P. 125—172.
39. Rampino M.R., Stothers R.B. Flood basalt volcanism during last 250 million years // Science. 1988. V. 241. N 4866. P. 663—668.
40. Richardson S.H., Gurney J.J., Erlank A.J., Harris G.W. Origin of diamonds in old enriched mantle // Nature. 1984. V. 310. P. 198—202.
41. Richardson S.H., Erlank A.G., Harris J.W., Hart S.R. Eclogitic diamonds of Proterozoic age from Cretaceous kimberlite // Nature. 1990. V. 346. N 5. P. 54—56.
42. Runcorn S.K. Convection currents in Earth's mantle // Nature. 1962. V. 195. N. 4828, p. 230—242;
43. Stille H. Grundfragen der vergleichenden Tektonik. Berlin: Gebruden und Berntraeger. 1924. 459 p.
44. Stille H. Geotectonische Gliederung der Erdgeschichte. Berlin. 1944. (pages unknown)
45. Taylor B. The single largest oceanic plateau. Ontong Java-Mahiki-Hikurangi // Earth Planet. Sci. Letters. 2006. V. 241. issues 3—4. P. 372—380.
46. Vine F.J., Matthews D.H. Magnetic anomalies over oceanic bridges, London // Nature. 1963. V. 199. N. 4897. P. 947—949.
47. Weis D., Frey F.A. Kerguelen Plateau - Broken Ridge: a major lip related to the Kerguelen plume // Seventh Annual Goldschmidt Conference, 1997. Pdf. 2062. P. 234.

Независимый геолог-консультант
 (3420 Boulder Circle., unit 103,
 Broomfield, CO , 80023, USA,
 e-mail: edwarderlich@comcast.net)
 Рецензент — В.М. Цейслер