

УДК 551.24.031 А. Н.

А. Н. ЭСМИНЦЕВ¹

ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ

Литосферадағы градация құрылымының құрылу процесі және оның энергия бөлу формасына байланысты: вулканизм, интрузивтік процесс, кендердің қабатталған процесі т.б. Тектоникалық циклдың қырылымындағы энергияның бөліну формаларын іздестіру мәселелері қарастырылған.

Рассмотрена градация структурообразующих процессов в литосфере в зависимости от форм энерговыделения: вулканизм, интрузивные процессы, складкообразование, рудные процессы и т.д. Исследуются вопросы положения форм энерговыделения в структуре элементарного тектонического цикла.

The article deals with gradation of structure forming processes in the lithosphere depending on forms of energy release such as volcanism, intrusive processes, folding, ore processes, etc. Problems of energy release forms in the structure of elementary tectonic cycle are investigated.

Все процессы – это превращения энергии, которые в конечном счете сводятся к тепловыделению. Тепловая энергия, в свою очередь, также совершает работу механическую, электрическую и т.д., но термодинамические тенденции сводятся к вырождению любого вида энергии в тепловую.

Тектонические процессы, оставляющие свои записи в геологических формациях, реализуются в литосфере через механическую работу по перемещению плит и более мелких их элементов. Эта работа осуществляется в едином механизме с конвективным движением и выделяемое при этом тепло одной природы с разогревом в мантии и верхней, и нижней. Если считать, что дрейф плит по земной сфере – процесс достаточно пассивный по отношению к движущим силам (гравитационная дифференциация), то расход энергии в этом незначительный в сравнении с энергетикой мантии. Однако он формирует структуру литосферы во многих ее тектоно-магматических проявлениях. В частности, в столкновении плит происходят орогенные процессы, создающие свой тектонотермальный стиль, относительно изолированный от мантийного тепло-массопереноса [14].

Подток тепловой энергии из мантии в виде кондуктивного теплопотока и тепло-массопереноса в рифтогенных процессах создает иной текто-

нический механизм, рифтогенный, уже опосредованный через тепло. Находясь в динамопаре, оба механизма геодинамики составляют элементарный тектонический цикл (ЭТЦ). Таким образом, в ЭТЦ попеременно чередуются преобладающие процессы – тепловые в рифтогенных и механические в орогенных [14, 15].

Не вся механическая энергия литосферы переходит прямо в тепловую. Происходит обратимый ее расход в работе против силы тяжести в образовании положительных форм рельефа, которые в геологических масштабах времени быстро денудировываются. Существенный расход энергии происходит в вязко-пластичных деформациях, в разрывной тектонике, в сейсмических процессах. Однако взвешенный баланс энергетике Земли склоняет к представлению, что силы, формирующие литосферу и в особенности земную поверхность, составляют незначительный процент от общих энергозатрат в геодинамике.

Такое представление ставит знаки вопроса над доминантами концептуального состояния в геотектонике начиная от канона Штилле, в котором рассматривается идея о ведущей роли орогенных процессов, и до дрейфа континентов. Дрейф континентов подтверждается измерениями в GPS, мантия подвижна во всей своей глубине [13]. Геологические формации – только следствия и записи тектонических процессов. Они

¹ Казахстан. 050100, г. Алматы, ул. Кабанбай батыра, 69а, Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева.

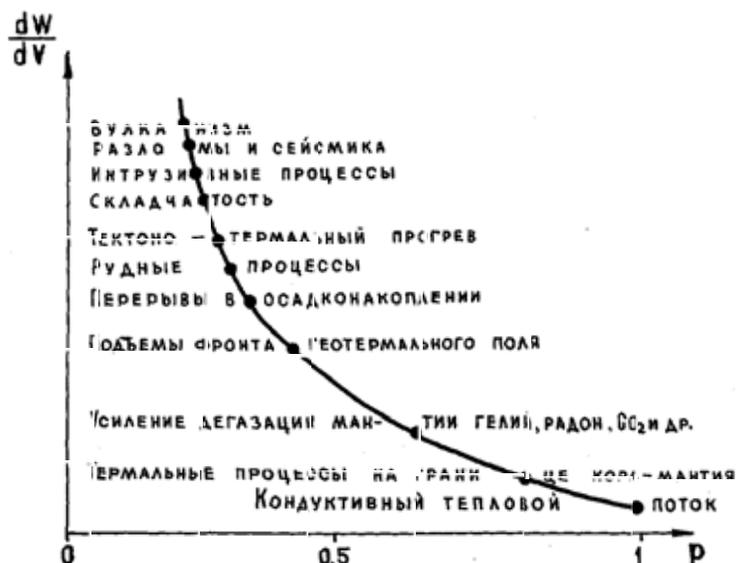


Рис. 1. Диаграмма отношения дифференциальной энергонасыщенности геодинамических процессов к вероятности их распространения в объеме коры – мантии Земли

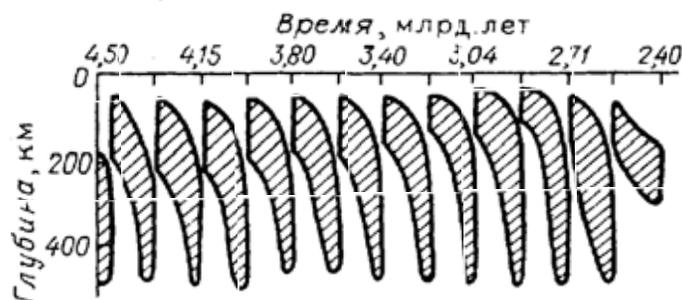


Рис. 2. Периодичность плавления в мантии Земли. (По А.Н. Тихонову и др. [8]. Циклы по 170 млн лет от раннего протерозоя до кайнозоя)

надолго сохраняются только на континентах, составляющих 1/3 земной сферы. Тихий океан – это фонтанирующая мантия в геологических масштабах времени. Основное энерговыделение происходит в океанах. «Формации – записи» на континентах фиксируют значительно менее 10% итогов энерговыделения из мантии.

На этом фоне имеет смысл рассмотрение энергозатрат по различным видам наблюдаемых тектонических процессов. На рис. 1 приведены ведущие структурообразующие процессы литосферы в порядке убывания их энергонасыщенности.

В данной схеме в координатах (Wv , p), где Wv – удельная энергонасыщенность процесса, p – вероятность его распространения в земной сфере, показано представление об относительной роли каждого из явлений, вызываемых тепловыделением из мантии. Исходя из того, что каждый ЭТЦ по сумме энерговыделения одинаков с

предыдущими и последующими, нет оснований считать, что в одном цикле будут только слабые процессы, тогда как следующий будет бурным. Четкий ритм во времени, не выходящий из 42±1 млн лет, свидетельствует о равных мощности и энергозатратах на протяжении рассмотренных 800 млн лет в каждом цикле. Не столь очевидное обстоятельство равенства энерговыделения в мантии из цикла в цикл, в частности, подтверждается Н. И. Николаевым, со ссылкой на А.Н. Тихонова и др. [8] (с.54, рис. 2). В [11] также приводятся доказательства хоть и усредненного, но очень полого убывающего энерговыделения Земли на протяжении рифея и фанерозоя, без глобальных катастроф, подобных позднеархейским (с. 182, рис. 5,3).

Если это так, то показанные на рис. 1 процессы стандартно повторяются из цикла в цикл. Но распределение их на земной сфере случайно в

математическом смысле. Имеет место унаследованность – понятие, всегда присутствующее в геологических построениях, однако в данном контексте это просто высокая мера вероятности.

Континенты, дрейфующие над мантией, проходят все возможные ситуации теплообменных процессов под собой, и следует признать, что и самые долгоживущие унаследованные пояса и зоны в своей активности едва переживают четыре-пять циклов ЭТЦ. В этом же контексте становится неопределенной и унаследованность даже и в двух последующих ЭТЦ, поскольку возникает новая вероятность для фрагментов коры – плит, террейнов, микроконтинентов и т.д. участвовать в иных ансамблях или взаимоотношениях. Эта математическая вероятность может быть самой разной:

$$P\{0 \leq 1\}.$$

Удельная энергоемкость процесса в случае рис. 1 отнесена к единице объема

$$W_v = \frac{dW}{dv},$$

где W_v – удельная энергоемкость, W – энергия, Дж, v – объем горной массы в ходе данного процесса.

На рис. 1 вулканизм рассматривается как наименее распространенное явление на земной сфере, сосредоточенное в узких, но протяженных вулканических поясах. Высшая концентрация энергии в виде вулканических явлений наиболее локально представлена на земной сфере как магматический и в нашем случае энергетический процесс, дошедший доверху.

Сколь ни впечатляющи своей грандиозностью вулканические извержения, каждый вулкан представляет собой на земной сфере точечный объект расхода энергии. И даже вулканические цепи и пояса мировой рифтовой системы – это линейные объекты магматизма, дошедшего доверху. Энергонасыщенность вулканизма максимальна в дифференциальном выражении, но минимальна относительно земной сферы. Вулканизм – свидетельство особо интенсивных процессов в коре и мантии вдоль протяженных узких зон.

Разломы по происхождению многообразны и в общем случае, независимо от механизмов их образования, свидетельствуют о мгновенном достижении предела прочности горной массы. Это-

му сопутствуют сейсмические явления.

Интрузивные процессы в ЭТЦ в рифтогенной и орогенной фазах противоположны по своей природе: одни мантийные и это I – граниты, другие коровые, и это S – граниты, и все сопровождающие их формации, или какие бы формации они сами ни сопровождали [16]. Приближение к этому пониманию уже вызвало волну идей нелинейной тектоники [9], что, на наш взгляд, обусловлено затруднениями в теории тектоники плит.

В теле Земли, вероятно, нет ни одного элементарного объема, который хотя бы один раз не прошел точку плавления в магматических процессах. Однако, это также точечные моменты в геологической истории, далекие от ведущих процессов энерговыделения. Такое представление отрицает идею изначально расплавленной Земли, так как приводит к пониманию, что в каждый момент геологической истории в магматических процессах бывала расплавлена только незначительная часть ее.

Складчатость – все механические процессы в горной массе, в полях напряжений: а) мгновенно достигающих предела текучести, но еще не до предела прочности; б) в пределах упругих напряжений, но существующих длительно, дольше, чем время релаксации горной массы (10^4 лет и более). Напротив, все сейсмические явления происходят внутри этого временного интервала, в динамике полей напряжений.

Тектонотермальный прогрев как феномен обнаруживается в изотопной геохронологии. Если из одной и той же пробы на абсолютный возраст проанализированы цирконы на Pb и амфибол, и биотит на K-Ar, то нередко обнаруживается, что по циркону и амфиболу возраст определен в 420 млн лет, а по биотиту – 210 млн. лет. Опыт изотопной геохронологии свидетельствует, что амфиболы хорошо удерживают аргон при прогреве до 400°C , а биотит его теряет до 320°C . И если по циркону и роговой обманке возраст совпадает, то K-Ar – часы в биотите были остановлены 210 млн. лет назад достаточным для этого прогревом, который мало чем еще мог быть обнаружен, возможно, например, по синхронным с ними сульфидам, по их модельному возрасту. Но так или иначе прогрев был, и он является свидетельством более масштабных процессов в коре и мантии, но проявился в дан-

ной точке только таким образом.

Зафиксированный этим способом тектонотермальный прогрев в данной местности должен коррелироваться по времени с явными тектономагматическими событиями как в этом же регионе, так и во всем мире в силу найденной цикличности (ЭТЦ). Случай тектонотермального прогрева вполне отвечает практической ситуации отбора соответствующего аналитического материала в градиентах геотермального палеополя. Возможны магматические образования данного возраста, создавшие соответствующий прогрев в этом районе. Информация об эпохе тектонотермальной проработки особенно ценна для построения металлогенограмм, корреляции рудных процессов и вообще в металлогении. На этой основе возможно построение моделей рудных процессов некоторых телетермальных месторождений.

Рудные процессы – средоточие внимания геологической теории и практики – в основном завершают магматизм и тектонотермальные импульсы. Они энергетически менее насыщены, но по структуре своих механизмов весьма сложны и имеют широкое распространение, соизмеримое с распространением магматических процессов, а также продолжают в осадочных процессах. Многоступенчатая эволюция рудного вещества начинается в рифтогенных процессах (колчеданы) и завершается редкометалльным рудообразованием. *Этим определяется рудный мегаряд, растягивающийся по рифтовой вертикали как по хроматографической колонке в химии.* И если колчеданное оруденение формируется сразу в рифтовом осадконакоплении, то редкометалльное от него отстает на два-три ЭТЦ, хотя стартовали из подкоровой рифтовой камеры вместе.

Перерывы в осадкокопчении – геологические явления, наименее инерционные во времени. Основное значение имеет трансгрессивное наложение, имеющее четкое структурное выражение. Менее информативна поверхность размыва, поскольку может достигать любой глубины. Проблему составляют скрытые перерывы, определяющие собой потери информации. Найденная высокая вероятность совпадения перерывов с тектоническими фазами на материалах Казахстана свидетельствует об их единстве в дина-

мике литосферы [15]. Анализ перерывов осадконакопления имеет значительный исследовательский потенциал для геодинамики, еще не использованный.

Подъемы фронта геотермального поля. Импульсы теплового потока, волнообразно следующие друг за другом, особенно четко фиксируются в процессах рудогенеза, но сопровождаются и интрузивные, и вулканические процессы, охватывая площади, большие, чем тектономагматические пояса.

Усиление дегазации мантии (He, Rn, CO₂, H₂O и др.). Основной агент тепломассопереноса, достигающего дневной поверхности, охватывает всю сферу Земли.

Термальные процессы на границе кора-мантия. Условия растяжения в литосфере в рифтогенную эпоху активизируют тепловые процессы пассивного и активного рифтогенеза. Пассивный рифтогенез [4, 5], не достигающий океанической стадии, имеющий широкое распространение в континентальной литосфере, чаще всего не достигает дневной поверхности, хотя на границе кора-мантия происходят активные процессы, формирующие магматические камеры, мантийные валы и рифтовые подушки, образующие перидотитовые, анортозитовые, эндербитовые и чарнокитовые массивы, однако не достигающие и средних уровней коры. Они сопровождаются диссипативными процессами тепломассопереноса [2].

Кондуктивный теплопоток проходит через полную поверхность земной сферы и составляет базис теплового излучения Земли, наименее подверженного колебаниям в ЭТЦ; входит составной частью в теплоперенос в восходящих ветвях и погружении.

В перечисленных моментах представлена грубая градация явлений, вызываемых теплопотоками из мантии. И если энергонасыщенность сверху вниз (рис.1) убывает параболически, то их глобальное значение по всей литосфере, напротив, возрастает логарифмически. Основной теплопоток реализуется в океанах, где в восходящих потоках выносит 90% тепловой энергии Земли [11].

Все перечисленные факторы имеют единый источник – тепловой механизм в мантии, работающий по циклу Карно [15].

Каждый из указанных способов теплопереноса, по-видимому, так или иначе подвержен колебаниям в доле от суммарной тепловой энергии. Их взаимодействие представляет большой исследовательский интерес и, по-видимому, соответствует всем узлам и трансмиссиям тепловой машины Земля.

Пусть континенты составляют меньшую часть поверхности земной сферы, но они в силу дрейфа бывают на ней повсеместно и благоприятны уже тем, что на них записывается в формациях история энерговыделения и сохраняется надолго, тогда как у океанической коры такие возможности резко ограничены.

На этом фоне вопрос Г. Штилле о глобальности фаз орогенеза как важнейших событий в истории Земли теряет такой их статус, но и не отрицается. Любой фазе на одном континенте, выраженной как угодно интенсивно, можно найти соответствие и на других континентах, поскольку полной неподвижности в земной коре практически нигде и никогда не было. И в этом смысле фазы Штилле глобальны. Но в них показан только орогенез как событие несколько второстепенной важности в сравнении с рифтогенезом в обстановке глобального растяжения в литосфере.

Вообще глобальными можно считать обстановки растяжения и сжатия в литосфере, вызывающие в земной коре соответственно рифтогенные и орогенные обстановки. Фиксируемые в формациях, их фазы становятся событиями производными от энерговыделения в мантии. Тем самым история Земли – это история энерговыделения, записанная в формациях.

Тектоническая активность проявляется импульсивно, короткими периодами. События таких импульсов фиксируются в вулканизме, в разломной тектонике. Более медленные процессы реализуются в складкообразовании, в темпе ползучести–релаксации горной массы. Последнее обстоятельство ныне привлекает все большее внимание и определяется в концепции реидной деформации в тектонической эволюции [6]. Объемная текучесть земной коры составляет вторую гармонику, реализующуюся плавно, волнообразно, на кривую которой накладываются последующие гармоники пиков тектонических импульсов, достигающих мощности разломной

тектоники и вулканизма. Таким образом, записываются модуляции на циклическую кривую.

События критических точек тектонических циклов достигают интенсивности разломной тектоники, но не везде. Вероятнее и шире эти события фиксируются в перерывах в осадконакоплении.

Фаза складчатости реализуется в литосферных полях напряжений, на некоторых пороговых значениях, не достигающих пределов прочности горной массы. Даже и ползучесть горной массы как твердого тела, возникающая в медленных деформационных процессах при напряжениях значительно ниже предела текучести, также имеет свое минимальное пороговое значение, ниже которого не начинается. Это может указывать на отсутствие явной складчатости и тем более разрывов, что еще не отрицает существование поля напряжений. Напротив, складчатость и разрывы могут формироваться в основном в градиентах поля напряжений. Неявными свидетельствами этих полей могут быть скрытые стратиграфические несогласия, иногда фиксируемые только фаунистически.

Если принимать за фазу проявления тектоно-термального прогрева и даже только увеличенную дегазацию мантии, то такая фаза с необходимостью выглядит глобальной. В любом случае, начиная от вулканизма и достигая слабых проявлений тепловой активности мантии, все они коррелируются с пульсациями теплового потока, излучаемого в космическое пространство через земную сферу. Но начиная с вулканизма и до магматических процессов на границе кора – мантия это надпороговые события, которые реализуются при достаточном энергетическом эффекте в данном месте, достигая температур плавления.

Видимая кратковременность орогенической эпохи в том, что медленно и долго развивающиеся усилия, создающие поле напряжений, разрешаются в складчатости, тогда как разрывы и особенно разрушительно-катастрофические события происходят по достижении предела прочности литосферы, что бывает кратковременно. Это затем сменяется по убывающей слабо и вяло развивающимися усилиями, ведущими к складкообразованию, но не к разрывам. Однако фиксируются в основном эпохи горообразовательного катастрофизма. Они также сопровождаются своими импульсами магматизма как процессы осо-

бой мощности, достигающие плавления горной массы.

Если считать складчатостью ее структурное проявление в геологической позиции, то это следствие энергетических процессов глобального характера, но сама складчатость в конкретном проявлении локальна или региональна. Ее возрастное положение фактически маркирует эпохи энерговыделения как причины своего происхождения.

Напротив, геотектонические циклы, киммерийский, герцинский, каледонский, байкальский и др., имея свои начала, максимумы и завершения в энергетике тектономагматических процессов, на фоне стабильного энерговыделения из мантии, являют собой только факты перераспределения теплового потока скорее во флюидо-термальные процессы, чем в кондуктивный теплопоток.

Признание дрейфа континентов поставило вопрос о случайности направлений их передвижения и случайности сочетаний их в новых ансамблях. Безусловно, существующие закономерности складываются из множеств случайных событий, почему-либо получающих направленную тенденцию.

На этом фоне ведущей глобальной закономерностью остается элементарный тектонический цикл, заданный параметрами и свойствами фигуры Земли в целом. Ее мантийный двигатель работает ровно, с тенденцией к слабо убывающей мощности в ходе геологической истории.

Цикл в 42 млн лет и его кварталы по 170 млн лет не вписываются симметрично-кратным образом в галактический год Солнца 230 млн лет. Кроме того, согласно астрофизическим данным спиральные галактики закручиваются с тенденцией к уменьшению радиуса вращения и к увеличению угловой скорости, закономерно сокращающей галактический год. Поэтому предыдущий год Солнца мог быть продолжительнее, вероятно, на 3–5 млн лет – и так во всей истории Солнечной системы. На этом фоне жестко выдержанный во времени цикл не может прямо зависеть от элементов орбиты по Галактике, в ее годовых, полугодовых, кварталных и других элементах.

В [11] Сорохтин и Ушаков дают оценку возможного влияния галактических гравитационных полей. Они считают, что «градиент силы тяжести лунных приливов приблизительно в 10^{17} раз

больше градиента, создаваемого галактическим гравитационным полем. Поэтому ни о каких влияниях «галактического года» на тектонику Земли говорить не приходится».

Когда континенты с кратонизированной литосферой объединяются в суперматерик, они составляют обширный и прочный литосферный сегмент над погружающейся ветвью одноячейной конвекции. Мощность литосферы достигает 400 км, а убегающая вниз ветвь конвекции уменьшает скорость восходящего теплового потока. Таким образом, под суперконтинентом создается обстановка пониженного теплового потока и преобладающая обстановка сжатия в поле тектонических напряжений, дополнительно блокирующая тепломассопотоки из мантии. В этих условиях основой энергообмена соединен с океанами. На суперконтинентах тектономагматические процессы ослаблены и в силу его повышенной механической прочности, и в силу отвода основного потока энергии в океаны на противоположной стороне фигуры Земли, в восходящей ветви одноячейной конвекции. Хотя в каждом цикле расход энергии «в киловаттах» примерно одинаков.

Распад суперконтинента приводит в движение его фрагменты как угодно далеко, и они дрейфуют над самыми разнообразными конвективными обстановками в «кипящей», турбулентной мантии, перестраивающейся в двухэтажную или многоэтажную конвекцию. В этих условиях кратоны претерпевают раздробление, сталкиваются и проходят через статистически случайные тектонотермальные ситуации, которые формируют складчатые пояса, орогены, плиты и щиты. В каждую геотектоническую эпоху закладываются свои структуры, занимающие в общем незначительную площадь от сферы Земли, развиваются несколько циклов унаследованно и отмирают, пересекаясь затем новыми подвижными зонами или сочленяясь с ними более или менее случайным образом.

Стояние суперконтинента, его период распада и формирование следующего – явление биографии поверхности земной сферы, в объеме цикла Вилсона. Это ведомые процессы, зависящие от движений во всем теле планеты. Реперные события, обозначающие окончание цикла и начало нового, в данном случае следует ожидать в мантии. Вопрос состоит в том, каковы эти ре-

перные события и какие формации они генерируют в литосфере, чтобы можно было это установить во времени. При этом, в достигнутом понимании определение времени такого процесса не должно выходить из интервала 1 млн лет, т. е., в пределах притязаний предложенной концепции.

Интуитивно представляется, что следует вести отсчет от начала распада суперконтинента и до следующего такого начала. В то же время для подобного рода выбора могли бы послужить любые значимые тектонические события, почему-либо кажущиеся предпочтительными. В некотором смысле проблема выбора особо значащих точек в циклических процессах представляется достаточно непростой, поскольку они так или иначе поочередно повторяются.

В предлагаемой модели реперным моментом, означающим начало очередного цикла Вилсона, принимается ЭТЦ, в рифтогенной обстановке которого начинается распад «пангеи». Он как ведомый, вследствие быть производным от процессов в мантии, маркирует в продуктах формаций возраст событий изменения процессов данного ранга, монотонно прослеживающихся далее около 800 млн лет до следующего распада.

Для примера, цикл Вилсона можно было бы проследить от максимума разбегания континентов, до следующего максимума, т. е., сместить синусоиду этого циклического процесса на фазу, тогда бы эти события отметились в минимумах процессов, в гранитоидах, по цирконам которых зафиксированы возрасты тектоноактивных эпох. На рис. 3 приведено сопоставление диаграмм, отображающих самые общие черты тектонической эволюции Земли. Верхняя диаграмма характеризует расход энергии на тектонические процессы в геологическом времени [11]. Экстремально выраженный пик расхода энергии, определивший кеноранский цикл, О. Т. Сорохтин и С. А. Ушаков объясняют становлением земного ядра, которое в эту эпоху приобрело законченные очертания и далее только наращивает свою массу. Полого и почти линейно нисходящая ветвь этой диаграммы характеризует медленное и равномерное сокращение расхода энергии на каждую тектоническую эпоху, что, на первый взгляд, не согласуется с представлениями о смене эпох покоя и катастроф в геологической истории. Но

взвешенное на соотношении масштабов механических и термальных процессов в мантии и коре это представление кажется понятным как результат ровной циклической работы мантийного двигателя, где каждый последующий цикл ненамного слабее предыдущего. В масштабах земной коры и в особенности в ее верхних наблюдаемых горизонтах итоги этих движений, записанные в формациях и дислокациях, отражают цепь случайных и флюктуативных ситуаций энерговыделения.

В статистике эти ситуации выстраиваются в закономерности, наиболее общие из которых можно видеть в приведенной сводке независимо полученных результатов. На рис. 3 смонтированы восемь диаграмм, приведенных с возможной точностью к единому масштабу времени. Две верхние диаграммы взяты из [11]. Гистограмма «коллизийной магматической активности» построена нами на основе разноски изотопных датировок по цирконам и К-Аг, на мировом материале.

Ниже расположены гистограммы из публикации Ю. А. Балашова и В. Н. Глазнева (2004 г.). На них отображены дифференцированно: «гранулиты и эклогиты», «коровые субвулканы», «щелочные породы», «дайки, траппы», «мантийные магматиты».

Техника построения всех гистограмм в принципе одинакова, но приведение их к одному масштабу времени создало разницу в масштабах частоты. Поэтому имеет смысл рассматривать только относительные значения в сопоставлении с двумя верхними диаграммами (по Сорохтину – Ушакову, 2001).

Нами выполнено построение гистограммы по мировым материалам в отображении миллионно-летней шкалы, построено по 5 млн лет. Статистика построена в частости попадания цифр в 5-миллионнолетние интервалы. Использовано около 6000 цифр. Материал определений по цирконам и К-Аг относится к гранитоидам (граниты-гранодиориты, реже диориты). Они представляют в значительном преобладании S-граниты орогенно-коллизийного происхождения (по Чаппелу-Уайту).

Таким образом, гистограмма отображает в основном интенсивность орогенных процессов во времени. В исполненной технике отсутствовала

периоды цикличности соответствуют циклами Вилсона [12]. Используются названия циклов, применяемые на Американском континенте, так как в силу слабой разработанности геотектонической шкалы докембрия пока нет определенности в рангах беломорского, кольского, карельского и других циклов тектогенеза. Из гистограммы, в частности, видно, что байкальский, каледонский и герцинский циклы, в том числе предшествующий им цикл без названия (или условно гринвильский), – это циклы Бертрана, некоторым образом нарушающие периодичности предыдущих трех циклов Вилсона и совпадающие с ожидаемым в этом периоде спадом орогенной активности [12].

Максимумы орогенной активности отмечают сближение и столкновение континентов и определяются в коллизионных процессах. По-видимому, данная статистика отображает в конечном счете суммарную протяженность зон столкновения континентов в ходе их слияния в «пангею», и затем и в ходе ее распада. Эпохи стояние Моногеи, Мегагеи и Мезогеи (Родинии) совпали с пиками орогенной активности. Последующий их распад и максимальное разбегание континентов соответствуют минимумам орогенной активности.

Напротив, очертания послегринвильских событий от миллиарда лет назад (поздний рифей) до мезозоя осложнены активностью байкальского, каледонского и герцинского циклов Бертрана. Каледонский цикл в своем максимуме (ордовик–силур) совпадает с положением континентов, соответствующим по схеме их ожидаемому максимальному разбеганию. Наоборот стояние Пангеи в пермо-триасе соответствует в действительности минимуму глобальной орогенной активности. Такое нарушение мотива тектоники, сложившегося в докембрии, пока не находит объяснения. Следуя этому мотиву, можно было бы ожидать, что байкаlid, каледонид и герцинид не было, а слияние в Пангею в мезозое только началось. Таким образом налицо аномальный ход тектонических событий в фанерозое, если это нельзя объяснить методическими ошибками данного исследования.

Ошибки могут состоять в том, что банк данных по датированию не учитывает разную сохранность датируемых объектов в докембрии и

фанерозое. Если использовать равновеликие выборки из архея, протерозоя и фанерозоя, то распределение по гистограмме может принять иные очертания. Возможно введение поправочных коэффициентов, учитывающих соотношения площадей архея, протерозоя и фанерозоя по континентам. Также, чем древнее подразделение, тем более глубокий эрозионный срез оно представляет, тем больше информации о нем безвозвратно потеряно. Напротив, фанерозойские подразделения занимают господствующее положение по поверхности континентов. По крайней мере, в гистограмме «коллизионной магматической активности» (рис. 3) это не учитывалось. Но вероятно иное объяснение: в добайкальскую эпоху в позднем рифее начал формироваться Тихий океан и он постепенно «согнал» все континенты в одно полушарие, что вызвало их интенсивное столкновение в каледонидах – герцинидах.

Сопоставление рассмотренной гистограммы с результатами исследований Балашова–Глазнева значительно дополняет и уточняет изложенные представления. Прежде всего, подтверждается аномально мощный тектогенез байкаlid-герцинид; подтверждаются пять экстремумов гистограммы в мантийных магматических процессах в «гранулит-эклогитах» и «коровых субщелочных сериях», хотя в последних картина более сложная и размытая. Ценность представленного материала также в дифференцированном подходе по типам магматизма [1].

Наблюдается полное совпадение минимумов в гистограммах нашей и Балашова–Глазнева. Совпадают и выводы об их природе в периодах деструктивных процессов суперконтинентов. Однако максимумы не столь согласованы, хотя наилучшее сходство наблюдается с гистограммой «гранулитов и эклогитов». Менее коррелятивна «гистограмма мантийного магматизма». Сами авторы находят свои гистограммы вполне коррелятивными, в особенности подчеркивается согласованность верхнемантийного и субщелочного гранитоидного магматизма. Действительно, визуально наблюдается определенное сходство этих гистограмм в грубых деталях (рис. 3). Однако, вероятно, опыт ранговой или парной корреляции не дал бы коэффициента корреляции $< 0,5$, так как сходные детали распределения сдвинуты по времени. В нашем представлении

принципиально важным является сдвиг по времени, равный элементарному циклу тектоногенеза 42 млн лет, или его фазе 21 млн лет. Имела бы смысл корреляция числовых рядов датировок, градуированная между одновременными событиями: только орогенные фазы; только рифтогенные фазы [15]. Рифтогенные события генерируют мантийный магматизм, орогенные магматические процессы в основном внутрикоровые.

Инверсионные процессы, доорогенные образуют габбро-диорит-гранодиоритовые формации, а субсеквентные – субщелочной кислый и средний магматизм. Они, вероятно, постепенно переходят в предрифтовый основной и ультраосновной щелочной магматизм со щелочными пироксенитами в подвижных зонах, с лампроитами и кимберлитами в кратонах.

Все же видимая коррелятивность построений Ю. А. Балашова и В. Н. Глазнева может объясняться тем, что в каждом элементарном тектоническом цикле генерируются все типы магматизма, но каждый в свою очередь. И дело случая зафиксировать их продукты в достаточном количестве датировок, равно, как и попадание датировок в банк данных.

С другой стороны, закон больших чисел в статистике все же обнаруживает объективные закономерности, и приведенные материалы хорошо согласуются в отображении с соответствующими тектоническими событиями. Так, во всех гистограммах, включая и автора, с хорошей точностью отмечен пик тектонической активности на рубеже архея – протерозоя. Хотя и в нем наблюдаются сдвиги во времени между мантийными магматизмом и другими видами магматизма, в пределах ~100 млн лет. По крайней мере, в пределах точности данных построений это подтверждает последовательности их генерации в ЭТЦ.

В трактовке Ю. А. Балашова и В. Н. Глазнева эволюция тектонических процессов зависит от остывания Земли, хотя из очертаний их гистограмм такого вывода не вытекает. Напротив максимальные пики магматической активности как расхода тепловой энергии показаны в кайнозое (Рис. 3).

В тепловую энергию по ее природе выражаются все остальные виды энергии в силу второго закона термодинамики. Поэтому тепловая

энергия является следствием основных процессов и генерируется ими, а не определяет их в меру своего убывания. Ю. А. Балашов и В. Н. Глазнев принимают версию общего охлаждения как концептуальное положение (со ссылкой на Wlaar N.Y., van Keken P.E e. a. 1994), но в своих построениях приходят к противоположному результату. В то же время с иных позиций О. Г. Сорохтин и С. А. Ушаков показывают, что расход тектонической энергии в истории Земли, начиная с раннего протерозоя, тоже почти линейно и полоуго убывает (рис. 3, верхняя диаграмма). Это иная концепция, принимая которую, все же требуется объяснить максимумы расхода тектонической энергии именно в кайнозое.

Выскажем предположение, что объем банка данных в некоторой мере зависит от конъюнктуры научных интересов геологов, вследствие чего количество датировок по молодым магматитам оказалось завышенным относительно всех остальных.

Из этих соображений постепенно складывается опыт отношения к банку данных для построения подобных гистограмм в последующих приближениях.

Чрезвычайно неравномерный ход тектонических событий, отображенных в гистограммах на рис. 3, и вообще вся культура геологического мышления, построенная на представлениях о геотектонических циклах, эпохах и фазах складчатости, согласно противостоят трактуемому нами представлению о ровном и спокойном темпе работы тепловой машины Земля по циклу Карно. Но в пользу равномерности энерговыделения свидетельствует представление о постоянной природе основных источников тектонической энергии – гравитационной неустойчивости в поле Земли, энергии радиоактивного распада и энергии вращения фигуры Земли. *Сложившееся противоречие, вероятно, является ключевым моментом геодинамики, поскольку ориентирует на механизмы – преобразователи постоянной энергии в переменную, подобно колебательному контуру в радиоэлектронике или подобно механическому маятнику.*

В [15] нами обосновывается существование элементарного тектонического цикла – 42 млн лет, который в выполненных построениях стабильно повторился без заметной поправки 17 раз

от позднего рифея до кайнозоя на протяжении 800 млн лет. Сколько-нибудь заметные колебания в мощности каждого цикла неизбежно создали бы отклонения от указанной цифры. Реально происходящие тектонические события, конечно, осложнили столь правильную цикличность, но в представлении о гармоничных колебаниях в механике определяется их свойство фильтроваться через любые линейные системы без нарушения своей периодичности. Факт существования элементарного тектонического цикла, прослеженный по фазам Штилле, свидетельствует как о существовании циклично действующего механизма мантии, так и о линейности систем, через которые фильтруется его цикличность в понятиях механики. Основным механизмом, запускающим цикличность, является порог механической сопротивляемости массы мантии постепенно и равномерно накапливающимся флюидным плюмам в слое D_{уу}. После преодоления этого порога в категории чисел Рэлея [3,7,11] начинается восхождение плюмов, дающих начало активным рифтогенным процессам. Пассивные рифтогенные процессы в литосфере, видимо, начинаются еще задолго до апвеллинга плюмов, с момента субсеквентной инверсии, когда земная сфера из состояния сжатия переходит в состояние растяжения. Тем самым создается предрифтовая обстановка, постепенно переходящая в рифтовую. В ходе ее возникают обстановки декомпрессии в верхней мантии, провоцирующие частичное плавление легкоплавких фаз ультращелочного, щелочного и субщелочного состава на больших глубинах (по А. Рингвуду) [10]. Если бы континенты со своей литосферой не двигались по земной сфере, а стояли впаянные в неподвижную мантию, то тектонические процессы происходили бы по внутриплитному варианту, т. е. пассивно. Но столкновение континентальных плит порождает широкий спектр коллизионных процессов. На приведенных гистограммах определяется зависимость интенсивности тектонических процессов от взаимодействия континентальных плит. Столкновение континентов приводит к росту, разбегание – к сокращению объема «записей в магматических и других формациях».

Распад суперконтинентов и их дрейф, вероятно, чаще происходили по атлантическому типу, с пассивными окраинами, без магматизма и это

не создавало повода для изотопных датировок, по какой причине они и не вошли в статистику гистограмм, что отчасти определяет их минимумы.

Учитывая, что при любых обстоятельствах расход энергии Земли на 90% [11] происходит в океанах, на долю континентов ее остается не более 10%, и все они также распределяются в соотношениях, приведенных на рис.1. На долю континентальных магматических процессов расход энергии составит, примерно 2–3%, и те в литосфере будут подвержены многочисленным случайным ситуациям, по глубине, по площади, по вариациям механических полей напряжений между плитами и внутри них. Этим, возможно, объясняется весьма неровный характер контуров гистограмм. Например, эпохи тектонической пассивности мантии, показанные крылоподобными знаками (рис. 3), объясняются тем, что в записях магматических формаций континентов эта информация минимальна и энергия расходовалась в океанах. Хорошая согласованность в положениях этих моментов во всех гистограммах, построенных независимо, подтверждает их достоверность.

Расход энергии в каждом элементарном цикле в целом по Земле почти полностью воспроизводился. На очертания контуров гистограмм влияли многие факторы, но основной из них – перераспределение энергии тектонических процессов между континентами и океаном. *Записи в континентальных геологических формациях фиксируют только долю континентов.*

В масштабах миллиардов лет континенты представляют собой эфемерную шлаковую корку над бурлящей мантией, но только в корке фиксируются события времени ее существования. Тем не менее если Тихий океан существует с докембрия, но даже и в нем кора не древнее юрской, не говоря уже о других, более молодых океанах, то только континенты остаются единственным свидетельством доюрского прошлого Земли, составляя не более 1/3 площади земной сферы. Но это все уже достаточно далеко от ведущей роли эпох орогенеза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балашов Ю.А., Глазнев В.Н. Влияние плюмового магматизма на динамику докембрийского корообразования // ДАН. 2004. Т. 395, № 1. С. 78-81.

2. *Грачев А.Ф.* Рифтовые зоны Земли М.: Недра, 1987.
3. *Котелкин В.Д., Лобковский Л.И.* Причины цикличности глобального геодинамического процесса // ДАН. 1999. Т. 366, № 3. С. 369-371.
4. *Леонов М. Г.* Континентальный рифтогенез, современные представления, проблемы и решения // Фундаментальные проблемы общей тектоники М.: Научный мир, 2001. С. 155-173.
5. *Ленов М.Г.* Мантийная конвекция и ее отражение в структуре земной коры // Геодинамические и геологические проблемы высокогорных районов: Тез. докл. Второго междунар. симп. Бишкек, 2002. С. 28-29
6. *Леонов М.Г.* Тектоника консолидированной коры: (Мат-лы Всероссийской научной конф.) // Геология, геохимия и геофизика на рубеже XX и XXI веков. М., 2002. Т.1. С.57-58.
7. *Меланхолина Е.Н., Руженцев Р.В., Моссаковский А.А.* Развитие глубинных ап- и даунвеллингов в геодинамике Земли // Фундаментальные проблемы общей тектоники. М.: Научный мир, 2001. С. 315-342.
8. *Николаев Н.И.* Новейшая тектоника и геодинамика литосферы. М.: Недра, 1988. С.54.
9. *Пуцаровский Ю.М., Соколов С.Д.* Нелинейная тектоника // Фундаментальные проблемы общей тектоники. М., 2004. С. 477-508.
10. *Рингвуд А.Е.* Состав и петрологии мантии Земли. М.: Недра, 1961.
11. *Сорохтин О.Г., Ушаков С.А.* Развитие Земли. М., 2002.
12. *Хаин В.Е.* Крупномасштабная цикличность, ее возможные причины и общая направленность тектонической истории Земли // Фундаментальные проблемы общей тектоники. М., 2001. С. 403-424.
13. *Эсминцев А.Н.* Надвигообразование и орогенный магматизм // Научная конф. IX чтения им. А.Н. Заварицкого «Эволюция внутриконтинентальных подвижных поясов». Екатеринбург, 2003. С. 93-94.
14. *Эсминцев А.Н.* Надвигообразование, изостазии и магматизм в новейшей геологической истории Тянь-Шаня // Известия НАН РК. Серия геологическая 2003. №3. С. 82-88.
15. *Эсминцев А.Н.* Фазы складчатости по Г. Штилле и элементарный цикл тектогенеза // Изв. НАН РК. Сер. геологическая. 2004. №3-4. С. 55-69.
16. *Chappel B.W., White A.J.R.* Two contrasting types of granites // Pacific geolog, soc. Sp. Publ.1986.N 19. P. 67-81.