

Глобальная геологическая система и системная геотектоническая концепция

Выделена глобальная геологическая система (ГГС), включающая астеносферу, литосферу, гидросферу, атмосферу и биоту. Проведен анализ функционирования ГГС и разработана системная геотектоническая концепция. В соответствии с ней, геологическая эволюция – это проявление динамики и развития ГГС. Концепция включает объяснение генезиса континентальной и океанической литосферы, природы геосинклинально-орогенных и глобальных геологических циклов, возникновения геологического этапа истории планеты, направленности поступательной геоэволюции. *Ключевые слова: геотектоника, глобальная геологическая система, системная геотектоническая концепция, генезис литосферы, природа геологических циклов, поступательная геологическая эволюция.*

Введение

Существующие знания о составе и структуре тектоносферы являются крупным достижением геотектоники, результатом обобщения геологических, геофизических и геохимических данных. При всём том, остаётся открытой проблема причин геологической эволюции и закономерного строения тектоносферы. Об этом свидетельствует критика имеющихся и появление новых геотектонических концепций.

Общий недостаток гипотез плейт-тектоники, плюм-тектоники, сжатия (контракции) Земли, её расширения, пульсаций её объема, базификации земной коры и других подобных идей заключается в недоказанности геодинамических механизмов, положенных в их основу. Преумножение такого рода концепций вряд ли приблизит нас к построению теории геоэволюции. Назрела необходимость изменить методологический подход к проблеме и сконцентрировать внимание на исследовании геотектонической роли реально действующих процессов эндо - и экзодинамики, во всей сложности связей между ними. Задача в такой постановке является типичной для системного подхода, который используется в изучении динамики и развития сложно организованных объектов природы и общества. При всей трудности задачи, ее решение может привести к полезным (заслуживающим доверия) результатам.

Целенаправленный анализ причин геоэволюции с позиций системного подхода проведен в работах (Сергины С.Я. и В.Я., 1987, 1993, Сергин, 1995, 2002, 2008). Как оказалось, перисфера (внешняя область) Земли обладает функциональным единством и представляет собой глобальную геологическую систему (ГГС). На этой основе сформирована системная геотектоническая концепция, выявлены объяснительные и прогностические её возможности, намечены эксперименты по её проверке. В данной статье представлены обоснование выделения ГГС и основные положения системной концепции.

Выделение глобальной геологической системы

Все реально известные собственно геологические структуры и процессы приурочены к перисфере Земли, которая включает астеносферу, литосферу, гидросферу, атмосферу и биоту. Логично полагать, что перисфера представляет собой не пассивную среду протекания геологической эволюции, а геосистему (ГГС), "ответственную" за этот процесс. Данное предположение соответствует действительности, если перисфера обладает свойствами динамической системы: 1) взаимодействием компонентов; 2) относительной обособленностью от внешней среды по зонам ослабленных связей; 3) наличием источников энергии. Рассмотрим доказательства существования ГГС.

Принадлежность к ней литосферы очевидна. Астеносфера также относится к ГГС - вследствие тесной функциональной связи с литосферой: астеносферные выплавки поднимаются по глубинным разломам и наращивают литосферу; перетоки вещества в астеносфере восстанавливают глобальное литостатическое равновесие. Не случайно эти оболочки, в их единстве, получили название "тектоносфера." М.Е. Артемьев (1987) отмечает, что астеносфера, вследствие пониженной вязкости, обеспечивает значительную автономность (по отношению к подастеносферной мантии) процессов, протекающих в литосфере. Ввиду этого нижнюю границу тектоносферы (и ГГС в целом) можно провести по подошве астеносферы.

С другой стороны, гидросфера, атмосфера и биота, взаимодействуя с литосферой, обуславливают экзогенные геологические процессы и участвуют в геоэволюции. Через литосферу они связаны с астеносферой, поскольку механизм

изостатической компенсации реагирует на разрушение гор и осадконакопление, появление и стайвание ледниковых покровов. Следовательно, гидросфера, атмосфера и биота - компоненты ГГС, а верхняя граница этой системы приурочена к верхней атмосфере.

Можно констатировать, что компоненты перисферы взаимосвязаны и относительно обособлены от глубоких недр и космического окружения. Как показано ниже, по ресурсам энергии эта комплексная оболочка почти эквивалентна Земле. В целом, она обладает всеми признаками динамической системы (и названа "ГГС"). Подобно биосфере, ГГС представляет собой геосистему, не включающую глубокие недра Земли (рис. 1). При глубинах нижней границы астеносферы 200 - 400 км масса ГГС не превышает 10% массы Земли.

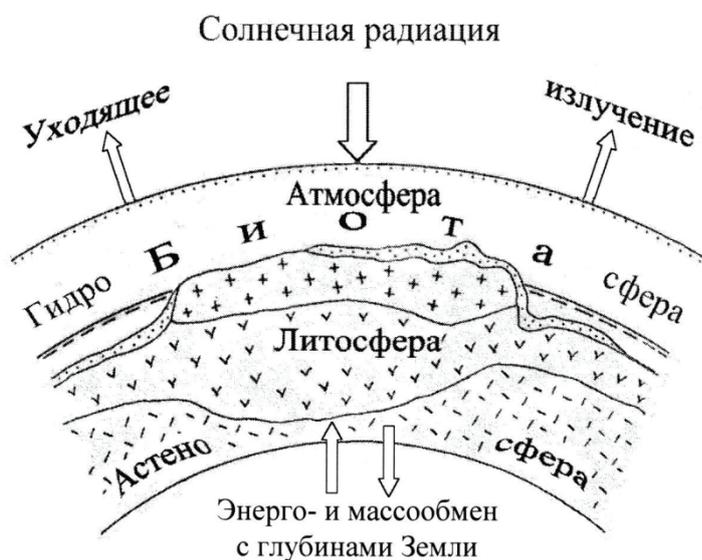


Рис.1. Компонентная схема глобальной геологической системы – ГГС (Сергин, 2002). Не показаны льды, возникающие в холодные эпохи; приток вещества из Космоса; утечка земного вещества через верхнюю границу атмосферы.

В исследованиях докембрия установлено, что уже в архее существовала система литосфера - гидросфера - атмосфера - биота, где происходило осадконакопление, подобное современному (Сидоренко,1991, Nutman et al.,2001). Существовала и астеносфера, о чем свидетельствует широкое распространение основных эффузивов. Следовательно, ГГС возникла в начале геологического этапа развития Земли и функционировала на всем его протяжении.

В соответствии со своей компонентной структурой, ГГС обладает следующими источниками энергии:

- 1) теплогенерация в пределах литосферы и астеносферы (q_1);
- 2) приток тепла через нижнюю границу системы (q_2);
- 3) приток солнечной энергии через верхнюю границу системы (I).

Если q_1 и q_2 представить в виде восходящих потоков тепла, то в квазистационарных термических условиях $q_1 + q_2 = q_n$, где q_n - тепловой поток на поверхности литосферы. По общепринятым представлениям, в ходе геологической истории источниками энергии тектогенеза (и q_n) могли быть остаточное тепло аккреции Земли, гравитационная дифференциация вещества планеты, физико-химические реакции в ее недрах, приливные деформации Земли и распад радиоактивных элементов. В.Е. Хаин и М.Г. Ломизе (1995) отмечают, что относительно строгой количественной оценке поддается лишь радиогенное тепловыделение, а роль остальных факторов весьма неопределенна. Подобное мнение высказывают и другие специалисты, причем, имеются доводы, согласно которым основная активность всех источников энергии, кроме радиогенного, приходилась на догеологический и ранний геологический этапы развития планеты. Современные значения q_n и вертикальное распределение температуры в теле Земли удовлетворительно описываются моделями, в которых учитывается только радиогенный источник тепла (Стейси, 1972, Любимова и др., 1983). В соответствии с тепловой моделью Земли, предложенной Ф. Стейси (1972), тектоносферная составляющая этого источника обеспечивает тепловой поток $q_1 = 0,05 \text{ Вт/м}^2$, а нижележащая часть мантии и ядро - тепловой поток $q_2 = 0,01 \text{ Вт/м}^2$ (Сергин, 2002, 2008).

Источником энергии для ГГС и системы Земля со стороны Космоса является солнечная радиация (инсоляция). Средняя плотность ее потока на внешней границе атмосферы (I) составляет 340 Вт/м^2 (Матвеев, 1991). Доля инсоляции, поглощаемая поверхностью Земли, такова: $I_n = I(1 - A) = 240 \text{ Вт/м}^2$, где A - планетарное альbedo, равное приблизительно 0,3. Поглощенная радиация затрачивается на климатообразование и функционирование биосферы, в том числе на экзогенные геологические процессы. После всех преобразований она почти полностью теряется в виде уходящего излучения Земли (рис. 1). Малой

добавкой к последнему является q_p . Тем самым поддерживается сравнительно устойчивый термический режим планеты.

Данные об источниках энергии ГГС и, для сравнения, системы Земля, представим в виде притоков тепла к поверхности планеты ($Вт/м^2$):

	ГГС	Земля
поглощенная солнечная радиация	240	240
собственное радиогенное тепловыделение	0,05	0,06
приток радиогенного тепла из глубин Земли	0,01	-

Практически все доступные для геоэволюции энергоресурсы Земли сконцентрированы в ГГС. При этом инсоляционный источник энергии обеспечивает наиболее масштабные (по массообмену) геологические процессы - глобальную денудацию, осадконакопление и образование осадочных пород (с их геохимической энергией). Как отмечено ниже, он играет основную роль в гранитоидном, а радиогенный источник тепла - в базитовом магматизме. Мы приходим к выводу об энергетической самодостаточности ГГС, причём, его можно распространить на весь геологический этап развития Земли: согласно Г.В. Войткевичу и О.А. Бессонову (1986), в это время светимость Солнца и радиоактивная теплогенерация в теле планеты не претерпели кардинальных изменений.

В плейт-тектонике, плюм-тектонике и других гипотезах не учитывается геодинамическая роль солнечной радиации и экзогенных геологических процессов. Как следствие, эти гипотезы не могут вскрыть реальных причин геологических событий и структур (даже если бы постулируемые в них глубинные процессы подтвердились).

Опираясь на факт существования ГГС, системную постановку задачи изучения причин геоэволюции можно отобразить с помощью блок-схемы ГГС (рис 2).

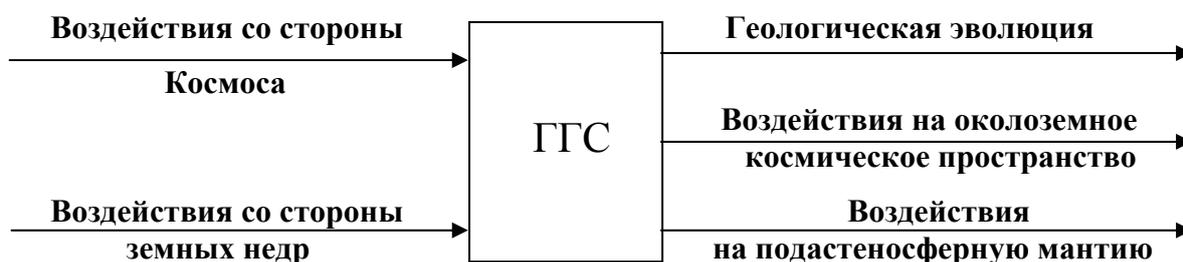


Рис.2. Блок-схема глобальной геологической системы, с её входами и выходами (Сергин, 2008).

Согласно этой схеме, при изучении причин геоэволюции можно (и нужно) учитывать возмущающие воздействия на ГГС со стороны Космоса и глубоких земных недр, рассматривая их в качестве внешних воздействий. Однако, чтобы формировать геологическую теорию, сведения о них должны соответствовать действительности. Из схемы также следует, что геоэволюция - не единственный выход (результат функционирования) ГГС. Как и другие динамические системы, она воздействует на свою окружающую (вмещающую) среду и изменяет её. Этот факт остаётся вне поля зрения геотектоники (которая пока не опирается на системный подход и не замечает существования ГГС). На его основе открываются возможности для объяснения 1) выявленных сейсмотомографией различий физических свойств мантии под материками и океанами как последствий влияния ГГС на мантию, 2) изменчивости геомагнитного поля, генерируемого в ГГС (а не в области ядра) и влияющего на перисферу и околоземное космическое пространство. Обоснования представлены в монографии автора (Сергин, 2008).

Функциональная структура глобальной геологической системы

Динамика и развитие ГГС зависят от её функциональной структуры. Согласно работам (Сергин, 2002, 2008), функциональные блоки ГГС - это литосфера и астеносфера, глобальная экологическая система (ГЭС), глобальная климатообразующая система (ГКС), ансамбль геосинклинально - орогенных систем (ГОС), ансамбль разломно - магматических систем (РМС). Они объединены взаимными и обратными связями (рис. 3).

Следуя учению о биосфере В.И. Вернадского и его последователей, ГЭС включает верхнюю (преимущественно осадочную) зону литосферы, гидросферу, различные льды, атмосферу и биоту. Для геодинамики и геоэволюции существенны такие процессы в ГЭС, как изменения состава атмосферы, денудация и седиментация, геохимическая аккумуляция солнечной энергии в осадочных отложениях.

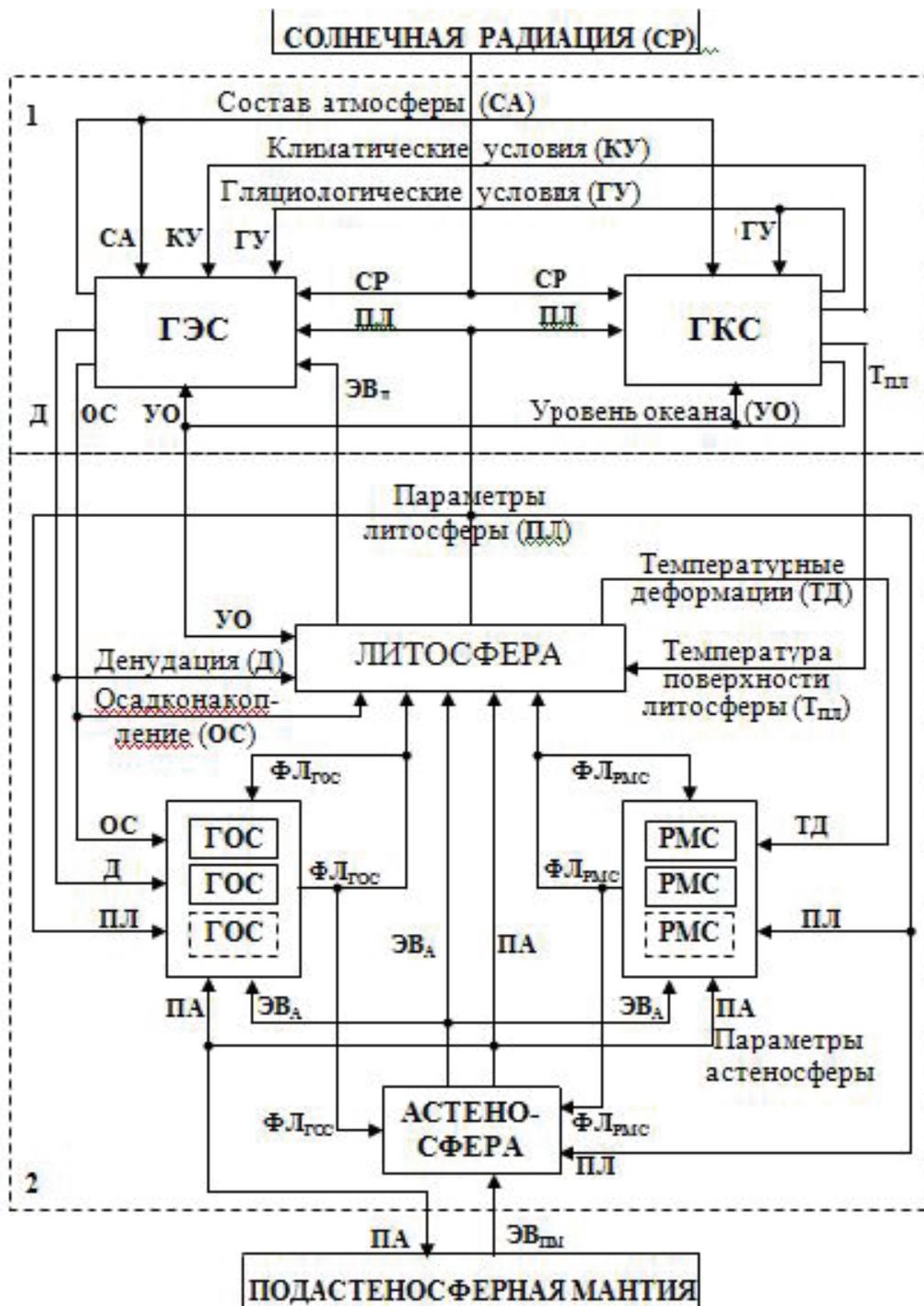


Рис. 3. Функциональная схема ГГС

1 – биосферная область. 2 – тектоносферная область. ГЭС – глобальная экологическая система. ГКС – глобальная климатообразующая система. ГОС – геосинклинально-орогенная система. РМС – разломно-магматическая система. ЭВ_л, ЭВ_а, ЭВ_{пм} – потоки энергии и вещества из литосферы, астеносферы, подастеносферной мантии. ФЛ_{ГОС}, ФЛ_{РМС} – формирование литосферы в ГОС и РМС. Стрелками обозначены входы блоков, а линиями, выходящими из блоков, – их выходы. Точками показаны разветвления связей. Некоторые связи опущены, чтобы не усложнять схему.

ГКС почти совпадает с ГЭС по компонентной структуре и занимаемому пространству, но обладает функциональной самостоятельностью, ибо те или иные климатические условия формируются на планетах и в отсутствие биоты. С динамикой ГКС связаны экзогенные геологические процессы, а также изменения климатических условий, материкового и морского оледенения, уровня океана и температуры океанических вод, термического состояния литосферы.

ГЭС и ГКС образуют биосферную область ГГС. Она заходит в пределы литосферы, но этот факт не удаётся отобразить на функциональной схеме.

Геосинклинально-орогенные системы (ГОС) представляют собой нестабильные участки тектоносферы, где протекают циклы следующего содержания: аккумуляция осадочных и эффузивных отложений (в условиях оседания литосферы) - последующая реализация геохимической энергии осадочных пород, региональный метаморфизм, гранитоидный магматизм и орогенез (Сергин, 2002, 2008). Глобальный ансамбль этих систем распределён по геосинклинально-орогенным областям и поясам, в пределах которых происходит зарождение и утолщение континентальной коры.

Разломно-магматические системы (РМС) - это участки тектоносферы, претерпевающие, после исходного разломообразования, следующий цикл: декомпрессионное выплавление из астеносферы базитовой магмы и ее излияние с появлением базальтовых покровов - компенсационное оседание литосферы, вызывающее повторное разломообразование и магматизм (Сергин, 2002, 2008). Исходное глобальное разломообразование обуславливается понижением температуры литосферы в холодные (ледниковые) периоды, а региональное - охлаждением земной коры орогенов и молодых платформ.

Литосфера и астеносфера, вместе с ансамблями ГОС и РМС, образуют тектоносферную область ГГС, функционально объединённую с биосферной областью системы. На схеме видно, что параметры литосферы (ПЛ) и астеносферы (ПА) - их состав, строение, температура и другие характеристики - это результат корпоративных взаимодействий в ГГС.

Представленные на схеме блоки и связи имеют геологическое содержание и геоэволюционное значение (которое анализируется ниже). Стало быть, она не

поддаётся усечению - как и расширению за счёт оболочек, функционально не входящих в ГГС. Отражая естественную организованность системы, схема даёт основу для построения системной геотектонической концепции и математического моделирования ГГС.

Геологический круговорот вещества и формирование континентов

Системные геотектонические воззрения впервые высказал, в конце 18 столетия, Джеймс Геттон. По его представлениям (изложенным, например, Д. Олдройдом (Oldroyd, 2002)), геологическая история - это череда разрушения ранее существовавших и возникновения новых материков. В качестве геодинамического механизма он принимал геологический круговорот вещества в системе "Земля", обусловленный взаимосвязью экзогенных и эндогенных процессов. Впоследствии знания об этом круговороте (и геохимических циклах) оформились в виде учения, которое получило общее признание. Однако, в современных геотектонических концепциях круговорот вещества если и рассматривается, то лишь как сопутствующий процесс.

Согласно системной концепции, геологический круговорот вещества играет принципиальную роль в формировании материков и дифференциации тектоносферы на континентальные и океанические сегменты.

В генерировании циклов круговорота задействованы все компоненты и процессы ГГС, но решающее значение имеет следующая связка процессов: денудация горных пород континентов - осадконакопление и сопутствующая геохимическая сепарация вещества - вещественная и энергетическая "загрузка" геосинклиналей - формирование там новых участков континентальной коры. На рис. 3 эта связка объединяет ГЭС, ансамбль ГОС и литосферу. Динамическая схема отмеченных процессов, при их развитии в переходной зоне континент - океан, показана на рис. 4.

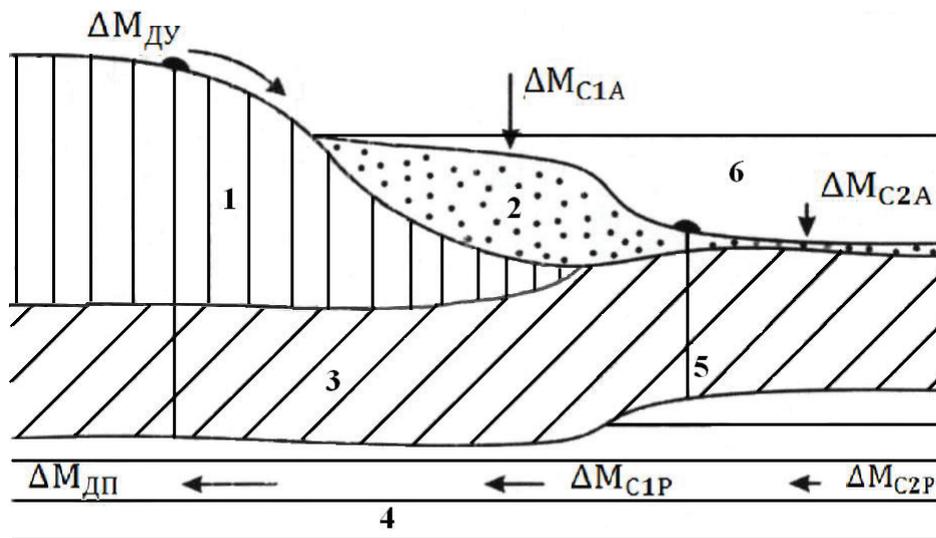


Рис. 4. Схема геологического круговорота вещества и сопутствующего разрастания континентов, по (Сергин, 2008). 1– гранитно-метаморфический и "базальтовый" слои континентальной коры; 2 – осадочные и эффузивно-осадочные отложения; 3 – вулканиты и метаморфизованные осадки древней и современной океанической литосферы; 4 – астеносфера; 5 – глубинные разломы и связанный с ними базитовый вулканизм; 6 – океан

Будем считать, что континентальная окраина включает эродируемый ороген и осадочную толщу зарождающейся геосинклинали. Убыль корового материала в зоне денудации ($\Delta M_{Ду}$) обеспечивает аккумуляцию осадочного материала в зонах активной и медленной седиментации ($\Delta M_{С1А}$ и $\Delta M_{С2А}$). По расчётам А.П. Лисицына (1984), 92-93% массы рыхлых продуктов, поступающих с суши в океан, остаётся в первой из этих зон - на подводной окраине материков (включающей окраинно-континентальные моря). Отток (расход) астеносферного вещества из них ($\Delta M_{С1Р}$ и $\Delta M_{С2Р}$) влечёт за собой компенсационный приток этого вещества к зоне денудации ($\Delta M_{ДП}$), где астеносферные выплавки поднимаются по разломам, пересекающим ороген.

В соответствии с учением о геосинклиналях, будем иметь в виду, что осадочная толща вовлекается в региональный метаморфизм, гранитоидный магматизм, складко - и горообразование. При этом циркумконтинентальный характер осадконакопления ($\Delta M_{С1А} \gg \Delta M_{С2А}$) предопределяет "обрастание" континентов орогеническими областями и поясами. Оно не может быть равномерным по периметру материков и во времени. Океаническая литосфера,

оказавшаяся в зоне активного осадконакопления и развития геосинклинально-орогенного процесса, надстраивается континентальной корой и становится нижней частью новообразованной континентальной литосферы.

Согласно геохимическим представлениям, в ходе геологического круговорота вещества происходит сепарация элементов, которую Г.В. Войткевич (1979) охарактеризовал следующим образом: "Чрезвычайно длительный круговорот воды промывал растущую континентальную кору, удаляя из нее навсегда некоторые наиболее растворимые симатические (базальтовые) элементы (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+}) и сохраняя относительно малоподвижные компоненты типа SiO_2 , Al_2O_3 , тем самым способствуя её сиализации в целом" (с.164). Этот процесс можно считать причиной преобладания в породах гранитно-метаморфического слоя минералов сравнительно небольшой плотности. Он оказал влияние и на "базальтовый" слой континентальной коры, содержащий метаморфизованные осадочные породы.

Результирующая пониженная плотность континентальной литосферы обеспечивает более высокое её положение по сравнению с океанической. Это является необходимым условием глобальной денудации и экзогенной сепарации вещества в биосфере. Тем самым перепад высот поверхности континентальной и океанической литосферы, будучи следствием сепарации осадочного материала, одновременно является причиной, поддерживающей её (рис. 5).



Рис.5. Схема вещественной и высотной дифференциации литосферы в ходе геологического круговорота вещества (Сергин, 2008)

Согласно схеме, геологический круговорот вещества – это геодинамический процесс, протекающий по принципу положительной обратной связи. С течением времени он усиливает вещественную и гипсометрическую специфику континентальной литосферы. Формирование континентов генетически связано с этим комплексным процессом тектогенеза.

Силовые факторы в отмеченном тектогенезе более всего проявляются на стадии инверсии и орогенеза в геосинклиналях различных типов. Затраты энергии на складко - и горообразование в это время намного меньше, чем на региональный метаморфизм и гранитоидный магматизм (Ананьев, 1981, Сергин, 2002, 2008). Реалистично объяснить энергетику метаморфизма и гранитоидного магматизма в ходе инверсии и орогенеза - одна из главных проблем геотектоники.

В.И. Вернадский (1983, переиздание работы 1934 г.) высказал мысль о том, что в тектогенезе может участвовать солнечная энергия, преобразованная в химическую форму (затраченная на образование гипергенных минералов). В 40-е – 60-е годы прошлого столетия Н.В. Белов и В.И. Лебедев (1957), а также другие отечественные последователи В.И. Вернадского обосновали идею геохимической аккумуляции солнечной энергии, в соответствии с которой превращение гипергенных минералов в гипогенные сопровождается выделением тепла, метаморфизмом осадочных пород, магматизмом и горообразованием. Такой же вывод представлен в работе В.А. Солла (Saull, 1955). Отмеченная идея получила широкую известность, однако, в условиях доминирования плейт-тектоники, она осталась невостребованной.

Геосинклинальные отложения обладают тремя геохимическими источниками энергии, возникающими в биосфере за счёт энергии солнечной радиации (Сергины С.Я. и В.Я., 1987, 1993). **1.** Рассеянное органическое вещество. В условиях нагрева отложений $C_{орг}$ вступает в экзотермические окислительно-восстановительные реакции с некоторыми кислородсодержащими минералами, что ведёт к усилению нагрева. Попутно выделяются CO_2 , H_2O и другие летучие. **2.** Гипергенные (преимущественно глинные) минералы. При повышенных температурах и давлениях, в ходе реакций разложения, замещения и

синтеза, они экзотермически превращаются в гипогенные минералы (главным образом полевые шпаты и слюды), свойственные кристаллическим сланцам и гранитоидам. Как следствие, выделяется тепло и образуются флюиды. 3. Радиоактивные элементы - в многократно повышенных концентрациях по сравнению с исходными (для образования земной коры) базитами. Известно, что обогащение радионуклидами осадков, особенно глин, происходит за счёт биогеохимических процессов. Тем самым обеспечивается повышенное радиогенное тепловыделение геосинклинальных отложений.

Проведены расчёты теплового баланса геосинклинальной осадочной толщи на инверсионной стадии геосинклинально-орогенного цикла (Сергин, 2008). Учитывались геохимические источники энергии, приток глубинного тепла через подошву толщи, сток тепла через её кровлю, затраты тепла на нагрев и частичное плавление пород толщи, затраты энергии на горообразование. В качестве нормативных проявлений инверсионной стадии принимались: повышение средней температуры толщи с 200 до 600°C, плавление (превращение в гранитоидную магму) 20% её массы, разуплотнение толщи на 25% (вызывающее орогенез), увеличение теплового потока через кровлю толщи с 0,045 до 0,09 Вт/м². При их выполнении невязка баланса равна нулю, но она может приобретать положительные и отрицательные значения (табл.1).

Таблица 1

Вариантные значения балансовой невязки прихода и расхода тепла в геосинклинальной осадочной толще в ходе инверсионной стадии, Дж/г

Значения $e_{cc} + e_{cm} + e_p$	H, км	τ_u , МЛН ЛЕТ				
		0,1	1	5	10	20
Мин.	10	-87	-131	-328	-573	-1065
	15	-91	-118	-239	-390	-693
	20	-97	-116	-199	-303	-511
Средн.	10	138	91	-95	-328	-794
	15	129	104	-7	-154	-422
	20	124	107	34	-58	-240
Макс.	10	353	314	137	-83	-524
	15	349	327	226	100	-152
	20	344	329	266	187	30

Здесь e_{cc} , e_{cm} , ϵ_p - удельное выделение тепла за счёт геохимических источников (1,2,3); H - мощность осадочной толщи; τ_u - продолжительность инверсионной стадии. Численные значения сумм $e_{cc} + e_{cm} + \epsilon_p$ не указаны, так как интегральное радиогенное тепловыделение (ϵ_p) зависит от τ_u .

При положительных невязках, свойственных вариантам со средними и максимальными значениями геохимической энергии, имеется избыток тепла и отмеченные нормативы инверсионной стадии превышаются. При отрицательных невязках инверсионный процесс ослаблен или невозможен.

Инверсия не охватывает всю геосинклинали сразу и растягивается во времени. Верхнекоровый запас тепла, в виде нагретых пород и очагов магмы, обуславливает продолжение орогенеза, начавшегося в ходе инверсии. Более того, орогенез может усилиться - вследствие запаздывающего нагрева нижележащей части коры и возникновения палингенно-анатектических очагов гранитоидной магмы. Даже при минимальной расчётной продолжительности инверсии (0,1 млн. лет) геологическая длительность орогенической стадии составляет десятки миллионов лет. Данное объяснение причин теплового возбуждения геосинклинальной коры (на стадии орогенеза) делает излишними предположения о тепловых импульсах из мантии.

Эти и другие результаты анализа геосинклинально-орогенного процесса дополняют учение о геосинклиналях. Мы приходим к выводу о существовании в рамках ГГС динамических геосинклинально-орогенных систем (рис. 3). Свойственные им циклы обусловлены тем, что накопление в геосинклиналях осадочных толщ, с их геохимической энергией, сменяется выделением энергии, метаморфизмом отложений, гранитоидным магматизмом и горообразованием. В ходе циклов, на протяжении геологической истории, имеет место "тиражирование" ГОС и образование геосинклинально-орогенных областей и поясов. Однако, по мере увеличения континентов возможность накопления в их пределах энергетически полноценных осадочных толщ утрачивается, орогенические области отмирают, формируются платформы.

Системная концепция здесь согласуется с геоэволюционным выводом учения о геосинклиналях и платформах, сформулированным Е.В. Павловским

(1953) следующим образом: "Общая направленность тектонического процесса с начала архейской эры и до настоящего времени выражается в сокращении площади первичных симатических платформ и в разрастании континентальных вторичных сиалических платформ" (с. 82). В соответствии с этим, структура литосферы преобразуется в последовательности:

океанические платформы → **геосинклинально-орогенные области и пояса** → **континентальные платформы**

Необходимое условие существования океанической литосферы - наличие океана. Отсюда, с учётом записанного преобразования, континентальная кора зарождалась в условиях полностью океанической Земли. Это положение соответствует факту изначального водно-осадочного генезиса древнейших пород. Оно подкрепляется теоретическим выводом о возникновении воды на стадии аккреции праземного облака космической материи (при взаимодействии водорода с оксидами металлов). Согласно отмеченному выводу, максимальный объём вод океана приходился на начало геологической истории (Сергин, 2008). Возникает вопрос: как зародилась континентальная кора?

Примем во внимание, что после аккреции, образования ядра, мантии и первичной коры Земля обладала значительным теплозапасом. Сброс тепла протекал на дне океана, при участии эффузивной деятельности. Естественно, что существовали приподнятые области дна, где кора и верхняя мантия отличались пониженной плотностью. Изливавшаяся там базитовая магма характеризовалась повышенной кислотностью. Эти области обладали изостатическими преимуществами в формировании крупных подводных, а потом надводных вулканических построек. Там возникли архипелаги вулканических островов и начались процессы круговорота вещества, которые привели к зарождению континентальной коры (Сергин, 2008):

области дна с пониженной плотностью коры и мантии → **архипелаги вулканических островов первичного океана** → **древнейшие геосинклинально-орогенные структуры** → **ядра древних континентальных платформ**

Исходные области этого ряда располагались на земном шаре, вероятнее всего, случайным образом. Как следствие, в распределении древних платформ и современных континентов нет сколько-нибудь очевидных закономерностей.

Генезис разломно-магматических систем и океанической литосферы

Эпоху появления океана и ГГС логично считать началом геологического этапа развития Земли. Существовавшая в это время земная кора представляла собой первичную океаническую литосферу. Её превращение в современную океаническую литосферу, согласно системной концепции, происходило главным образом под влиянием ансамбля разломно-магматических систем (РМС).

На раннегеологическом этапе протекал следующий комплексный процесс образования РМС и утолщения литосферы: охлаждение исходной литосферы – появление в ней горизонтальных температурных напряжений растяжения и сети вертикальных разломов (разрывов) – выплавление базитовой магмы из астеносферы и её излияние в виде субаквальных покровов – охлаждение последних с образованием новых разрывов. Расчёты показывают, что на участках охлаждающихся базальтовых покровов (большой мощности) глубинные разломы и РМС могут возникать даже в условиях современной океанической литосферы (Сергины С.Я. и В.Я., 1987, 1993).

На более позднем этапе главное значение для образования РМС приобрело охлаждение океанической (и континентальной) литосферы в ледниковые периоды. Первый из них датируется поздним археем или ранним протерозоем (Харленд и др., 1985). Далее они повторялись, обуславливая чередование тёплых климатических эпох с холодными. Температура глубинных вод и дна океана при этом изменялась с амплитудой 10 - 15°C. В соответствии с решением уравнения теплопроводности, для случая гармонических колебаний температуры на верхней границе литосферы (Сергин, 2002, 2008), эти колебания проникали на значительную глубину (табл.2).

Глубина распространения в литосфере (км) колебаний температуры с относительной амплитудой $A(Z)/A(0)$ в зависимости от периода колебаний (τ) и теплопроводности пород (a)

$A(Z)/A(0)$, доли ед.	a , 10^{-6} M^2/c	τ , 10^6 лет						
		0,01	0,1	1	10	50	100	200
0,5	0,5	0,16	0,5	1,6	4,9	10,9	15,5	22,0
	1,0	0,22	0,7	2,2	6,9	15,5	22,0	31,2
	2,0	0,31	1,0	3,1	9,8	22,0	31,2	44,0
0,1	0,5	0,52	1,6	5,2	16,3	36,3	51,5	72,9
	1,0	0,73	2,3	7,3	23,0	51,5	72,9	103,5
	2,0	1,0	3,3	10,4	32,7	72,9	103,5	146,1

Здесь $A(Z)$ и $A(0)$ - амплитуда колебаний температуры на глубине Z и на поверхности литосферы ($Z = 0$). Значению $A(Z)/A(0) = 0,5$ соответствуют глубины, на которых изменения температуры ещё относительно велики: $A(Z) = 0,5A(0)$. При τ порядка 100 млн лет эти глубины составляют десятки километров, вследствие чего изменения температуры в пределах от $A(0)$ до $0,5A(0)$ охватывают верхнюю часть литосферы, материал которой обладает хрупко-упругими свойствами. Значению $A(Z)/A(0) = 0,1$ соответствуют глубины "ощутимого" проявления температурных волн.

При переходе от тёплой эпохи к холодной в верхней литосфере возникают температурные напряжения, достаточные для образования глобальной сети разломов (Сергины С.Я. и В.Я., 1987, 1993). Их углублению способствует циркуляция в полостях разрывов поверхностных (главным образом океанических) вод. Происходит быстрое дополнительное охлаждение вмещающей разрывы литосферы и "водобойное" их углубление (Сергин, 1995, 2002 2008). Как следствие, реализуется следующий механизм возникновения РМС и утолщения литосферы: углубление разломов до астеносферы – декомпрессионное выплавление базитовой магмы и её излияние на поверхности в виде покровов – компенсационное оседание окаймляющих блоков литосферы с появлением новых разломов (по линиям сбросов) – дальнейший эффузивный магматизм и "тиражирование" разломов (рис. 6).

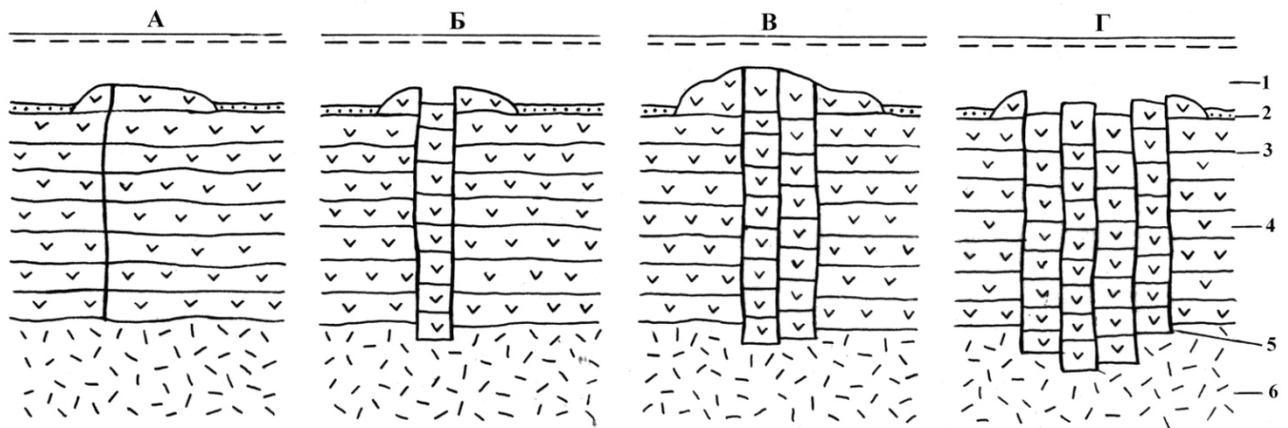


Рис. 6. Схема возникновения и развития разломно-магматической системы (РМС) на дне океана, по (Сергин, 2002). А – исходная трещина и эффузивный магматизм. Б – компенсационное оседание литосферного блока. В, Г – дальнейшее развитие РМС. 1– океан, 2 - осадочные отложения, 3 – метаморфизованные осадочные отложения, 4 – базиты, 5 – разломы, 6 – астеносфера.

В каждый холодный период, подобный верхнекайнозойскому, океаническая литосфера покрывается сетью РМС и чехлом молодых существенно пористых вулканитов. В зонах наиболее активного проявления разломно-магматического процесса и сопутствующего разуплотнения литосферы возникают срединно-океанические поднятия (хребты). Базитовые магмы выплавляются из астеносферы за счёт радиогенного источника тепла (в основном q_1). В череде долговременных климатических циклов литосфера утолщается и приобретает всё более сложную разломно-блоковую линзово-слоистую структуру (рис. 7).

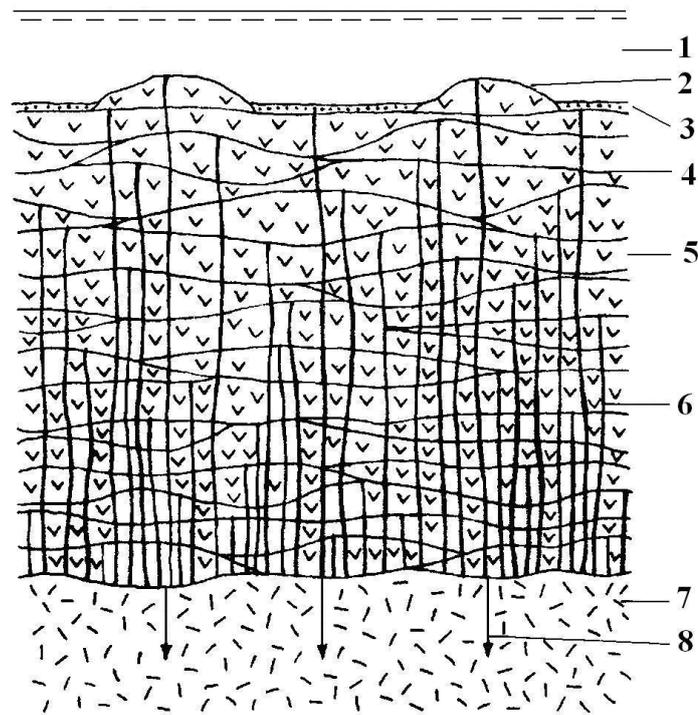


Рис. 7. Схема формирования океанической литосферы: выплавление магмы из астеносферы - наращивание литосферы вулканитами - компенсационное ее оседание, по (Сергин,2002). **1 – океан, 2 – молодые вулканиты, 3 – осадочные отложения, 4 - метаморфизованные осадочные отложения, 5 – относительно древние базиты, 6 – дайки в полостях разломов, 7 – астеносфера, 8 – оседание литосферы.**

Таким образом, океаническая литосфера формировалась при взаимодействии биосферной и тектоносферной областей ГГС (рис. 3, 6, 7). По мере её утолщения наиболее древние её слои, включая первичную кору, ассимилированы астеносферой и выпали из геологической летописи (Сергин, 2008). Она генетически единообразна по вертикали, причём, с глубиной уменьшается доля метаморфизованного осадочного материала (материки, как главный источник осадков, были меньше) и увеличивается доля интрузивных пород (за счёт даек в полостях относительно древних разломов).

В тёплые периоды, когда происходит температурное расширение материала литосферы, в ней возникают горизонтальные напряжения сжатия. Ансамбль РМС отмирает, а геосинклинали испытывают боковое сжатие, стимулирующее начало инверсионной стадии. Такова природа эпох растяжения и сжатия земной коры (большое внимание которым уделяют Е.Е. Милановский (1984) и Г.М. Власов

(2000)). Однако, события усложняются, особенно на континентах, более короткопериодными климатическими циклами и термотектоническими явлениями в геосинклинально-орогенных областях (Сергины С.Я. и В.Я., 1993).

Природа циклической и поступательной геологической эволюции

Согласно системной концепции, причиной глобальных геологических (в том числе климатических) циклов является автоколебательность ГГС. Это свойство возникло в достаточно зрелом структурно-функциональном состоянии ГГС, при сравнительно крупных размерах континентов и наличии климатических возможностей появления ледников. Рассмотрим механизм автоколебаний.

В качестве исходных примем условия тёплого геологического периода, когда почти все горные поднятия сnivelированы, а континентальные платформы в большой мере покрыты мелководными морями. Геосинклинали в это время загружены осадками, с их геохимической энергией. В значительной или преобладающей части геосинклиналей начинается выделение этой энергии, региональный метаморфизм, гранитоидный магматизм и орогенез. В случае активного орогенеза (особенно в высоких и средних широтах) появляется обширное горное оледенение, переходящее в материковое (вследствие саморазвития ледников). Сопутствующее гляциоэвстатическое понижение уровня океана сопровождается морскими регрессиями на материках, что способствует экспансии ледниковых покровов и похолоданию климата. На земном шаре устанавливается холодный период.

В случае слабого орогенеза возникает похолодание климата, которое сходит на нет после разрушения гор. Но геосинклинали при этом получают вещественную и энергетическую подпитку. В их ансамбле возрастает вероятность обширного орогенеза. Стало быть, после нескольких повторений неизбежно произойдёт горообразование, достаточное для возникновения холодного периода. Таким же образом возник и первый ледниковый период (Сергин, 2008).

Холодный период отличается геократичностью (сравнительно большой площадью и высотой суши) и наличием ансамбля разломно-магматических систем, особенно на дне океана. В это время активно протекают процессы денудации и осадконакопления, сопровождающиеся нивелированием рельефа и

повышением уровня океана. Его повышение обуславливается, кроме того, формированием срединно-океанических поднятий. К уменьшению площади суши ведёт также охлаждение и оседание земной коры орогенов. Под влиянием этих изменений начинается дегляциация, усиливающаяся гляциоэвстатическим повышением уровня океана и потеплением климата. С её завершением устанавливается новый тёплый талассократический период.

Некоторая одновременность орогенных событий в ансамбле ГОС может затянуть холодный период. Однако, в условиях непрерывной денудации завершение дегляциации и геологического цикла является неизбежным.

Мы приходим к выводу, что ГГС – неравновесная термодинамическая система, не имеющая стационарных состояний даже в отсутствие внешних воздействий. Причиной геологических циклов является корпоративное биосферно-тектоносферное взаимодействие. Планетарная организованность процессов обуславливается глобальной климатообразующей системой (ибо задействованные в геологических циклах изменения климата, оледенения, уровня и термики океана носят глобальный масштаб). Продолжительность циклов контролируется главным образом длительностью стадий осадконакопления и орогенеза геосинклинально-орогенных систем. При этом заметно выраженная стохастичность событий в ансамбле ГОС порождает некоторый спектр геологической цикличности. Так можно объяснить проявление в неогее основной периодичности (около 200 млн. лет) и второстепенных циклов (преимущественно 20-60 млн. лет).

По эмпирическим данным (Рид, Уотсон, 1981), понятным с теоретических позиций, в архее уже существовал ансамбль ГОС и имели место геологические циклы. Они выражались в региональных геосинклинально-орогенных событиях. Что касается планетарной взаимосвязи (и коррелированности) геологических событий, то она стала реальностью только с появлением ледниковых периодов и глобальных циклов (Сергин, 2008).

По высказыванию Э. Ога (1938) "...геологическая история нашей планеты есть не что иное, как история следующих друг за другом циклов" (с. 21). В самом деле, события региональных (геосинклинально-орогенных) и глобальных геологических циклов - это геологическая динамика (жизнь) Земли.

Существенно и то, что в ходе каждого цикла происходят необратимые изменения перисферы. Вследствие этого циклическая динамика ГГС обуславливает поступательное геологическое развитие Земли: утолщение океанической литосферы, экспансию геосинклинально-орогенных областей, разрастание континентов, усиление геократичности Земли, похолодание климата, усложнение биосферы и т. д. (Сергины С.Я. и В.Я., 1987, 1993, Сергин, 2002, 2008).

Заключение

Для решения проблемы причин геологической эволюции разработана системная геотектоническая концепция, основанная на выделении и анализе функционирования ГГС. Согласно анализу, принципиальное геодинамическое значение имеет взаимозависимость экзогенных и эндогенных геологических процессов. В соответствии с системной концепцией, геологическое развитие Земли – это проявление динамики и развития ГГС. В её рамках получено свободное от внутренних противоречий объяснение генезиса океанической и континентальной литосферы, природы геосинклинально-орогенных и глобальных геологических циклов, возникновения геологического этапа истории планеты и направленности геоэволюции. С учётом этих результатов, ГГС можно считать основным объектом исследований геологии.

Из системной концепции следуют прогностические выводы, в частности, следующие:

- океаническая литосфера вещественно единообразна (вулканиты с прослоями метаморфизованных осадков) и является весьма древней (хотя древнейшие её слои ассимилированы астеносферой);
- нижним "этажом" континентальной литосферы является ранее возникшая океаническая литосфера, а верхним – кора, сформированная преимущественно в ходе геосинклинально-орогенных циклов;
- биосферная область Земли прямо и косвенно повлияла на состав и строение всех слоёв литосферы, а также некоторой части астеносферы (затронутой ассимиляцией литосферного материала).

Концепция поддаётся проверке с помощью полевых и лабораторных экспериментов. Вывод о древности океанической литосферы можно проверить проходкой хотя бы одной скважины (с бурового судна или на атолле), заглублённой во "второй" слой океанической коры на 3-5 км. Надо ожидать, что она вскроет палеозойские отложения. Попутно возникнет ясность в отношении постулата плейт-тектоники о раздвиге плит и мезокайнозойском возрасте океанической литосферы. Вывод о климатической обусловленности глобальной сети разломов можно проверить с помощью физического моделирования разломообразования. Этот перечень можно продолжить (Сергин, 2008).

Не менее важной задачей на будущее можно считать дальнейшее изучение функционирования ГГС и ее подсистем. Выполнение этой работы позволит приступить к математическому моделированию ГГС и модельному воспроизведению геоэволюции с учетом различных вариантов начальных условий и изменяющихся во времени граничных условий. При этом откроется возможность корректировки модели ГГС, а значит и системной концепции геологической эволюции. С другой стороны, результаты моделирования начнут восполнять пробелы в геологических знаниях, связанные с недостатком фактических данных о тектоносфере. В целом, становится понятной перспектива построения геотектонической теории, консолидирующей науку о Земле.

Рассматриваемые задачи (включая проходку глубокой скважины на атолле) посильны отечественной науке и технике. Они могут быть выполнены в обозримые сроки в рамках проекта, достаточно компактного по числу исполнителей и необходимым затратам.

Автор благодарен д. ф.-м. н. В.Я. Сергину за участие в постановке исследования на основе системной методологии и совместную работу на самом трудном – начальном этапе разработки системной геотектонической концепции.

Литература

- Ананьев Ф. М.* О причинах и механизме тектонических процессов. // Изв. высш. учебн. завед. Сер. Геол. и разв. 1981. № 8. С. 17-22.
- Артемьев М.Е.* Современное состояние проблемы изостазии. В кн: Строеие и эволюция тектоносферы. М., ИФЗ АН СССР, 1987. С. 216-252.
- Белов Н. В., Лебедев В. И.* Источники энергии геохимических процессов. // Природа. 1957. № 5. С. 11-20.

- Вернадский В. И. Очерки геохимии. М., Наука, 1983. 422 с.
- Власов Г. М. Глубинно-геосинклинальная концепция тектогенеза (на примере древних и молодых гранит-зеленокаменных поясов). Владивосток, Дальнаука, 2000. 213 с.
- Войткевич Г.В., Бессонов О.А. Химическая эволюция Земли. М., Недра, 1986. 212 с.
- Войткевич Г.В. Химическая эволюция Солнечной системы. М., Наука, 1979. 174 с.
- Лисицын, А. П. Осадочное тело океана. В кн: Геология дна океана по данным глубоководного бурения. М., Наука, 1984. С. 12-61.
- Любимова Е.А., Любошиц В.М., Парфенюк О.И. Численные модели тепловых полей Земли. М., Наука, 1983. 126 с.
- Матвеев Л.Т. Теория общей циркуляции атмосферы и климата Земли. Л., Гидрометеиздат, 1991. 295 с.
- Милановский Е. Е. Развитие и современное состояние проблем расширения и пульсаций Земли. В кн: Проблемы расширения и пульсаций Земли. М., Изд-во МГУ, 1984. С. 8-24.
- Ог Э. Геология. М. - Л., ГОНТИ НКТП СССР, 1938. 560 с.
- Павловский, Е. В.* О некоторых общих закономерностях развития земной коры. // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1953. № 5. С. 82-90.
- Рид Г., Уотсон Дж. История Земли : ранние стадии истории Земли Л., Недра, 1981. 240 с.
- Сергин С.Я. Причины геологического развития Земли: системный подход. Ростов-на-Дону, Изд - во СКНЦ ВШ, 2002. 47 с.
- Сергин С. Я., Сергин В. Я.* Взаимодействие литосферы и климата как одна из возможных причин возникновения геологических циклов. // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1987. Т. 62, вып. 2. С. 3-17.
- Сергин С. Я., Сергин В. Я. Природа глобальных геологических циклов: системный подход. М., Наука, 1993. 123 с.
- Сергин С.Я. Системная организация процессов геологического развития Земли. Белгород, Изд - во БелГУ, 2008. 360 с.
- Сергин С.Я.* Теоретическая геология: в поисках базиса. // Научн. мысль Кавказа. 1995. № 4, с. 27-38.
- Сидоренко С.А. Органическое вещество и биолитогенные процессы в докембрии. М., Наука, 1991. 104 с.
- Стейси Ф. Физика Земли. М., Мир, 1972. 342 с.
- Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. М., Изд - во МГУ, 1995. 480 с.
- Харленд У. Б., Кокс А. В., Ллевеллин П. Г. и др. Шкала геологического времени. М., Мир, 1985. 140 с.
- Nutman A. P., Friend C.R.L., Bennett V.C.* Review of the oldest (4400-3600 Ma) geological and mineralogical record: glimpses of the beginning. // Episodes. 2001. Vol. 24. N. 2. P. 93-100.
- Oldroyd D.* James Hutton's " Theory of the Earth " (1788). // Episodes. 2000. Vol. 23. N. 3. P. 196-2002.

Saull, V. A. Chemical energy and metamorphism. // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1955. V. 8. N. 1/2. P. 86-107.

Sergin S.Ya.

The global geological system and systemic geotectonic conception

The global geological system (GGS) which includes asthenosphere, lithosphere, hydrosphere, atmosphere and biota is determined. The analysis of GGS functioning is performed and systemic geotectonic conception is worked out. In accordance with this conception, geological evolution displays GGS dynamic and development. The conception includes the explanations for genesis of continental and oceanic lithosphere, nature of geosynclinal-orogenic and global geological cycles, origin of geological stage the Earth's life and cause geoevolution's trend. *Key words: geotectonic, global geological system, systemic geotectonic conception, lithosphere genesis, nature of geological cycles, progressive geological evolution.*

Статья опубликована в сб.: «Исследование и формирование геосистем», Туапсе, 2009.