

Синергетическая тектоника.

1. Физическая природа глобальных цикличностей

© И. В. Карпенко, 2012

ДП "Науканафтогаз" НАК "Нафтогаз Украины", Киев,
Украина

Поступила 4 июля 2011 г.

Представлено членом редколлегии В.И. Старостенко

Наведено основні принципи синергетичної (що самоорганізується) тектоніки. Еволюційний розвиток Землі, яка обертається навколо власної осі, розглянуто як розвиток неврівноваженої системи, який періодично закінчується катастрофічним процесом ортогональної зміни осі обертання. Зміна осі обертання відбувається в процесі досягнення, а не порушення гравітаційно-інерційної рівноваги, що є принциповим, оскільки не потребує ніяких додаткових енергетичних впливів на систему. Періодичності геологічних процесів (цикли Вільсона, Штілле та ін.) пов'язані із синхронізуючим впливом вселенського гравітаційно-хвильового поля, природа якого не є силовою, тобто на Землю діє не сила, а зміна зовнішніх умов, які і визначають перебіг внутрішньоземних процесів. Показано, що, з огляду на будову Всесвіту базові періоди тектогенезу гравітаційно-хвильової природи такі: період Вільсона протяжністю понад 400 млн років; період Штілле із середньою протяжністю 15 млн років; галактичний період із середньою протяжністю 1,24 млн років; зірковий період із значенням 11 років. Ці періоди визначають як тектонічну історію Землі, так і частково кліматичну.

The main principles of synergic (self-organized) tectonics have been presented. Evolutionary development of the Earth rotating around its own axis is considered as development of unbalanced system terminating periodically by catastrophic process of orthogonal change of rotation axis. The change of rotation axis occurs in the process of attaining but not violation of gravity-inertial equilibrium that is a principal point because we do not need any additional energy impacts on the system. Periodicity of geological processes (Wilson, Shtille cycles et al.) are related to synchronizing effect of universal gravity-wave field, which nature is not force one, that is not strength is in action but the changes of external conditions of terrestrial processes behavior. It has been shown that in terms of the Universe structure, the basic periods of tectonic genesis of gravity-wave nature are the Wilson period more than 400 million years long, the Shtille period in average 15 million years long, the Galaxy period with average duration 1,24 million years and the Stellar period with a value of 11 years. They determine both tectonic and partly climatic history of the Earth.

Введение. Тектоника как составляющая науки о земной коре развивается в направлении поиска ответа на вопрос о силах и закономерностях, определяющих и описывающих движение коры или отдельных ее фрагментов в настоящее время и в геологическом прошлом. Решение данной проблемы — это одновременно получение ответа на затянувшуюся дискус-

сию о справедливости той или иной модели геодинамического развития коры Земли. В связи с попытками установления таких сил порождены многочисленные гипотезы, как правило, отдающие предпочтение тому или иному типу физически возможных сил. Однако современные тенденции в развитии геодинамической теории иные. Например, В. Е. Хаин, осо-

бенно в последние годы, не придерживался крайних геосинклинальных или плейттектонических позиций, а стремился к созданию, условно говоря, "синтетической" модели динамики Земли, которая вобрала бы в себя все лучшее, что есть в каждой из названных гипотез [Хаин, 2001, 2010]. В таком же направлении ниже рассматривается развитие теории синергетической природы глобального структурообразования.

Прежде всего к геодинамическим силам относятся гравитационные, ротационные, а также силы, связанные с эндогенными процессами, в основном — с термоядерными реакциями в ядре Земли [Хаин, 2001, 2010; Лобковский и др., 2004; Жарков, 1983; Тяпкин, 1998]. С учетом принципа эквивалентности гравитационных и инерционных (ротационных) сил всю совокупность физически возможных сил в первом приближении можно свести к двум — гравитационным и термоядерным. В общем случае возможно рассмотрение и других сил — электромагнитных, тепловых и иных космических и внутривоздушных физических полей, но их влияние в рассматриваемой задаче вряд ли существенно. В большей степени с этими полями связываются климатические изменения на поверхности Земли.

Гравитационное влияние на тектоническую жизнь Земли определяется в основном распределением масс внутри планеты. Широко распространенные представления о влиянии галактических масс [Сипович, 2004] не подтверждаются современными физическими теориями. Орбитальные движения Земли вокруг Солнца, центра масс Галактики и так далее происходят вдоль так называемых геодезических линий, на которых действующая на тело сила равна нулю [Захаров, 2003]. Экспериментальное подтверждение этого факта — наличие невесомости на вращающихся вокруг Земли космических аппаратах. По-видимому, единственным исключением является приливное влияние, наибольшее со стороны Луны, потом Солнца, наименьшее — от масс Галактики. Его воздействие связано с тем, что Земля имеет конечные размеры (для "точечных" объектов и приливные силы равны нулю). Однако и эти силы несравнимы с внутривоздушными, которыми в конечном итоге и определяется тектоническая жизнь планеты.

Возникает вопрос, откуда берутся указанные силы, какая их природа и какой источник энергии поддерживает их существование. Ближайший ответ — энергия ядерного рас-

пада в ядре Земли. Пока что в этом нет особых сомнений, и в пользу данной гипотезы свидетельствуют разносторонние исследования условий образования и современного существования звезд и планет. К такому выводу склоняются большинство специалистов в области физики Земли и тектоники [Хаин, 2010; Жарков, 1983; Захаров, 2003; Зоненшайн и др., 1993]. Но откуда берутся известные цикличности в развитии коры Земли (Вильсона, Бертрана, Штилле), периодичности проявлений в ней складчатостей (альпийской, герцинской, каледонской, байкальской и других)? Нет особых оснований для утверждений о существовании таких длиннопериодных (десятки и сотни миллионов лет) цикличностей в протекании процесса ядерного распада внутри Земли.

Ответ на заданный вопрос будем искать не столько в природе действующих сил, сколько в особенностях процесса самоорганизации тектонической жизни Земли. Похоже, что игнорирование именно явления самоорганизации и привело к возникновению противоречивых, иногда взаимоисключающих тектонических гипотез. Идея самоорганизации процессов в различных (замкнутых и незамкнутых) системах нашла свое развитие в новом направлении науки — синергетике. В тектонике данное направление еще не приобрело широкого распространения как самостоятельное, но решение некоторых тектонических задач производилось именно в синергетической постановке, хотя и без употребления этого названия [Карпенко, 1995, 2007 а, б, 2009; Карпенко, Приходченко, 2009].

Цель настоящей работы — демонстрация возможностей выхода на следующий уровень в развитии тектонической науки с условным названием *синергетическая тектоника*, т. е. науки, занимающейся изучением процессов самоорганизации и возникновения, поддержания, устойчивости и распада тектонических структур самой различной природы. Конструктивные возможности этого направления продемонстрируем на примере проблем, рассмотрение которых в совокупности приближает, с нашей точки зрения, создание основ теории синергетической тектоники.

Краткий обзор механизмов структурообразования на примере ротационных тектонических гипотез. Имея неоднородное внутреннее строение по вещественному составу, распределению температур, давлений, Земля также саморазвивается, прежде всего, соглас-

но термодинамическим законам физики. Это развитие сопровождается разрывами ее коры, смещениями кусков последней в вертикальном и горизонтальном направлениях. Такое развитие в целом эволюционное, но влечет за собой катастрофические изменения [Карпенко, 2007 а, б] — закономерное следствие данного процесса. Собственно условия возникновения катастроф, в результате которых и появляются океаны, горные системы, планетарные сетки разломов, и представляют собой предмет исследования в различных гипотезах глобального структурообразования. Наиболее характерные из них рассмотрим на примере ротационных гипотез, и вот почему. Отмечая неудовлетворительное состояние проблемы выяснения физического механизма структурообразования в тектонике Земли, авторы крупной монографической работы [Лобковский и др., 2004] обращают внимание на проигнорированную, с их точки зрения, но очень важную для понимания процессов глобального структурообразования роль именно ротационного механизма. На самом деле, ротационный процесс как важный энергетический фактор в глобальной геодинамике Земли не остался вне внимания исследователей, поэтому тем более интересно понять, почему же и учет ротационных влияний не привел к желаемому результату.

В XX в. наибольшее распространение имела ротационная гипотеза структурообразования, в основе которой лежит изучение изменения угловой скорости вращения Земли при условии, что Земля — абсолютно твердое тело с неизменным положением собственной оси вращения [Каттерфельд, 1962; Цареградский, 1963; Лейбензон, 1965; Стовас, 1975]. Структурообразующий эффект связывался с замедлением скорости вращения вследствие приливного влияния Луны.

В основу Новой ротационной гипотезы структурообразования положены представления о разрядке напряжений, возникающих в тектоносфере при смещении положения оси обращения Земли относительно ее поверхности [Тяпкин, 1974, 1985; Тяпкин, Довбнич, 2002]. Смещение инициируется внешним магнитным полем галактик и связывается с проворачиванием внутреннего ядра Земли относительно мантии. Как отмечается в работе [Лобковский и др., 2004], внутреннее ее ядро вращается с несколько большей скоростью, чем Земля в целом, а именно на $1,3 \pm 0,5$ град/год, что может иметь серьезные геодинамические следствия.

Иными словами, согласно предложенной гипотезе, Земля рассматривается как открытая система, а источником энергии для ее тектонического активирования выступает космическое магнитное поле. Не исключено, что Новая гипотеза представляет интерес для объяснения природы миграции магнитных полюсов, в том числе с учетом сильных магнитных возмущений со стороны Солнца.

Существуют и другие объяснения миграции магнитных полюсов, но уже чисто эндогенными причинами: американский геофизик М. Херндон высказал гипотезу о том, что в центре Земли находится естественный "ядерный реактор" из урана и плутония (или тория) диаметром всего 8 км. Считается, что эта гипотеза способна объяснить инверсию земного магнитного поля, происходящую каждые 200 000 лет.

С одновременным разворотом всей мантии по поверхности жидкого ядра и верхней мантии относительно нижней, с дегазацией объема Земли связывается тектонический процесс в ротационно-флюидной гипотезе [Павленкова, 2004]. В соответствии с тектоникой глобальных обращений [Storetvedt, 1997], тектонический процесс объясняется общим разворотом всей Земли, а не отдельных ее составляющих (ядра, мантии). Разворот вызывается выбросом большого количества вещества из ядра и соответствующим нарушением баланса масс в мантии, который затем возобновляется путем смены оси обращения Земли. Однако остается нерешенным вопрос, что послужило причиной такого выброса больших масс из ядра Земли?

Как видим, практически для всех гипотез общим является необходимость какого-то дополнительного воздействия, внешнего или внутреннего, способного инициировать тектонический процесс, т. е. перевести систему из эволюционного состояния развития в катастрофическое. Поиски природы такого воздействия вынуждают формулировать новую гипотезу и так далее. Поставим задачу предложить и обосновать такой механизм гравитационно-ротационной тектоники, который не нуждается в дополнительных энергетических воздействиях, т. е. является самоорганизующимся. Естественно, что практическая ценность такого механизма должна подтверждаться его возможностью объяснения как можно большего круга глобальных тектонических процессов и порождаемых ими тектонических структур.

Синергетическая гипотеза глобального структурообразования. Самоорганизующиеся системы. Систему называют самоорганизующейся, если она без специфического воздействия извне обретает какую-то пространственную, временную или функциональную структуру [Кузьмичев, 1989]. Широко известен пример неспецифического воздействия: жидкость, подогреваемая снизу, в результате самоорганизации образует макроструктуру с шестиугольными ячейками. Другим примером, с нашей точки зрения, может служить функционирующая в теле Земли система ячеек коромантийных течений. Подогревом в этом случае служит тепло от ядра Земли. Третий пример описан в работе [Карпенко, 2011] и касается функционирующей на поверхности Земли стационарной системы океанических течений, получающей энергию подогрева от Солнца.

Одно из основных свойств самоорганизующихся систем — открытость (в противоположность закрытым системам, для описания динамики которых достаточно понятия энтропии). Кроме того, самоорганизующиеся системы не характеризуются состоянием изостатического (в нашем случае) равновесия, т. е. являются принципиально неравновесными. Поэтому факт существования в толще Земли стационарной системы циклических течений коромантийного вещества достаточен для характеристики ее как неравновесной открытой самоорганизующейся системы, обладающей к тому же, как обосновывается в теории синергетики, свойствами нелинейности и диссипативности.

Действующим фактором, ведущим к катастрофе, выступает не сила, а эволюционный процесс достижения Землей состояния энергетического (изостатического) равновесия, который и становится причиной последующей катастрофы. В понятиях термодинамики это соответствует второму началу термодинамики (в наиболее общей его формулировке): при реальных (необратимых) адиабатических процессах энтропия возрастает, достигая максимального значения в состоянии равновесия системы. Однако второе начало термодинамики не абсолютно, оно нарушается при наличии флуктуаций, что и приводит к катастрофическому изменению состояния системы. Другими словами, чем ближе подобная система к состоянию равновесия, тем более она подвержена даже незначительным влияниям внешних условий, в которых пребывает.

Земля как неравновесная система. Покажем, что эволюционное развитие вращающейся вокруг собственной оси Земли можно рассматривать как развитие неравновесной системы, рано или поздно заканчивающееся катастрофическим процессом ортогонального изменения оси вращения.

В движущейся системе координат с осями, направленными по главным осям инерции, связь между проекциями момента импульса L и угловой скоростью ω вращения Земли вокруг собственной оси имеет вид [Кузьмичев, 1989; Карпенко, 2007 а, б]

$$L_x = J_x \omega_x, \quad L_y = J_y \omega_y, \quad L_z = J_z \omega_z. \quad (1)$$

Здесь J_x, J_y, J_z — главные моменты инерции тела, а уравнения движения для L имеют вид

$$\begin{aligned} J_x \frac{d\omega_x}{dt} &= - (J_y - J_z) \omega_y \omega_z = N_x, \\ J_y \frac{d\omega_y}{dt} &- (J_z - J_x) \omega_z \omega_x = N_y, \\ J_z \frac{d\omega_z}{dt} &- (J_x - J_y) \omega_x \omega_y = N_z, \end{aligned} \quad (2)$$

где N_x, N_y, N_z — проекции момента внешних сил на главные оси.

Это уравнения Эйлера, все величины в которых отнесены к жестко связанным с твердым телом движущимся осям координат. Уравнения описывают движение тела с одной неподвижной точкой, в которую помещено начало координат и которая при этом совпадает с центром масс Земли. Поскольку орбита Земли представляет собой геодезическую линию, то проекции N_x, N_y, N_z момента внешних сил на главные оси инерции равны нулю: $N_x = N_y = N_z = 0$. Тогда из решения уравнений Эйлера вытекают следующие выводы:

- 1) свободное вращение твердого тела возможно только вокруг проходящих через центр масс тела главных осей инерции;
- 2) вращение твердого тела устойчиво только относительно главной оси, которой соответствует максимальный или минимальный момент, тогда как вращение вокруг оси со средним значением момента инерции является неустойчивым.

Для Земли экваториальный момент инерции $J_{x,y} = 8,042 \cdot 10^{44} \text{ г} \cdot \text{см}^2$, а полярный

$J_z = 8,068 \cdot 10^{44} \text{ г} \cdot \text{см}^2$ [Тяпкін, 1998]. Вращение осуществляется вокруг оси с максимальным значением момента инерции (оси z).

Таким образом, неустойчивым эллипсоидом вращения может быть назван эллипсоид, в котором сравнялись значения главных моментов инерции — для действующей оси вращения и для одной из двух других главных осей. Другими словами, если вследствие конвекционного перетекания коромантийного вещества полярный момент инерции сравняется с одним из экваториальных, J_x или J_y , которые в общем случае не равны, то будет достигнуто условие

$$J_z = J_x \neq J_y. \quad (3)$$

В соответствии с условием (3), осью вращения становится ось y . Таким образом, вращение вокруг оси z будет изменено на вращение вокруг ортогональной к ней оси y .

Как видим, для ортогонального изменения оси вращения Земли нет необходимости в существовании внешних сил ($N_x = N_y = N_z = 0$), но предполагается такое направленное изменение внутреннего состояния системы, которое может перевести ее в состояние, удовлетворяющее условию (3). Составляющие тензора момента инерции

$$J_{xx} = \int (y^2 + z^2) dm, \quad J_{xy} = J_{yx} = - \int xy dm,$$

$$J_{yy} = \int (z^2 + x^2) dm, \quad J_{yz} = J_{zy} = - \int xz dm,$$

$$J_{zz} = \int (x^2 + y^2) dm, \quad J_{zx} = J_{xz} = - \int zx dm, \quad (4)$$

где $dm = \rho(x, y, z) dV$; ρ — плотность; $dV = dx \cdot dy \cdot dz$ — элемент объема; J_{xx} , J_{yy} , J_{zz} — осевые моменты инерции; J_{xy} , ..., J_{xz} — недиагональные моменты инерции, зависят только от распределения масс в теле Земли. Поэтому только в результате смены характера данного распределения, зависящего от интенсивности и направленности коромантийного перетекания вещества, можно ожидать выполнения условия (3). Соотношение (3) может быть названо *инерционным условием неустойчивости* вращения эллипсоида.

Поскольку компоненты (4) тензора инерции не содержат энергетических характеристик (частоты вращения), то правомочен вывод — с помощью изменения частоты вращения нельзя достичь выполнения условия (3).

Обратим внимание также на то, что в рассмотренном случае не происходит потери энергии вращения на осуществление катастрофы; энергия вращения перераспределяется по главным осям момента инерции, но в сумме остается такой же. Этим предлагаемый механизм глобального структурообразования отличается от большинства ротационных гипотез, в которых для реализации процесса структурообразования требуется энергия вращения.

Неустойчивый однородный эллипсоид вращения характеризуется также свойством эквипотенциальности своей поверхности, что означает отсутствие перетекания вещества вдоль нее. Физически это означает равенство гравитационного потенциала для каждой точки поверхности (*гравитационное условие неустойчивости*):

$$\varphi = \text{const}. \quad (5)$$

Таким образом, вращающаяся вокруг одной из своих главных осей инерции Земля, внутри которой перемещается вещество, изменяет свое энергетическое состояние в направлении достижения энергетического равновесия, определяемого равенством моментов инерции тела по двум главным осям вращения. После достижения такого состояния осью вращения становится третья главная ось, т. е. происходит катастрофа, заключающаяся в ортогональном изменении оси вращения Земли [Карпенко, 2007 а, б]. В энергетическом отношении в процессе достижения равновесия поверхность Земли становится практически эквипотенциальной поверхностью почти равных потенциалов. И достаточно небольших флуктуаций потенциалов, вызванных внутренними или внешними причинами, чтобы произошло катастрофическое изменение состояния системы, выражающееся в ортогональном изменении оси вращения Земли. Природа этого "флуктуационного" влияния рассмотрена ниже.

Укажем на отличие предложенного механизма ортогонального изменения оси вращения от варианта, рассмотренного в работе [Storvedt, 1997]. В последней постулируется общий разворот всей Земли на 90° . Разворот вызывается выбросом большой массы вещества из ядра в мантию. Нарушенный баланс масс в мантии восстанавливается сменой оси вращения Земли. Другими словами, сначала происходит нарушение гравитационно-инерционного равновесия (выброс вещества из ядра в мантию, причина которого остается гипотетической), а затем, как следствие, смена оси

вращения. В нашем случае, наоборот, смена оси вращения происходит в процессе достижения, а не нарушения гравитационно-инерционного равновесия, что принципиально, поскольку не требуется никаких дополнительных энергетических воздействий на систему.

Процесс достижения состояния потери системой устойчивости в общем случае бесконечен во времени, поскольку, чем ближе по величине момент инерции J_x в условии (3) к J_z , тем меньше интенсивность коромантных течений. Этим и определяется необходимость в некотором дополнительном влиянии на систему. Например, таким влиянием может быть накопление в процессе субдукции на одном из мантийных уровней вещества океанической коры с последующим его резким провалом на следующий мантийный уровень [Лобковский и др., 2004]. Однако в подобном случае, как упоминалось, трудно ожидать наблюдаемые в действительности глобальность и периодичность тектонического процесса, причем обладающего существенно разными значениями периодов (Вильсона, Штилле и др.).

Упомянутые выше флуктуации или дополнительные воздействия, как показано ниже, связаны с синхронизирующим воздействием мирового гравитационно-волнового поля, природа которого не является силовой. Гравитационный потенциал — проявление свойства кривизны пространства — времени. Пробное тело, помещенное в некоторую точку пространства вне исследуемого тела, реагирует лишь на факт искривленности пространства — времени в данной локальной точке. Поскольку кривизна пространства — времени не относится к энергетической характеристике, то гравитационное влияние не является силовым. Представление гравитационного влияния ускорением силы тяжести из выражения для силы Ньютона — всего лишь "силовая" аппроксимация влияния кривизны пространства — времени, согласно которому движется пробное тело.

Физическая природа циклов Вильсона, Бертрана, Штилле. Отталкиваясь от работ [Карпенко, 2004 а—в], представим только основные идеи, обосновывающие физическую природу названных циклов. Уточним только, что в дальнейшем будем использовать понятия периодов Вильсона, Штилле и так далее, подчеркивая тем самым факт периодичности проявления соответствующих тектонических событий. Понятие цикла оставим для описания некоторой совокупности подобных тектонических

событий, объединенных определенной завершенностью в тектоническом развитии исследуемого процесса. Хотя ниже, отдавая должное устоявшейся традиции, оба понятия — цикличности и периодичности — иногда использованы как синонимы, особенно при цитировании литературных источников.

1. Согласно [Хаин, 2001, 2010; Лобковский и др., 2004], цикл Вильсона с длительностью примерно 600 млн лет проявляется в процессе образования и распада континентов и, соответственно, раскрытия и закрытия океанических бассейнов. Циклы Бертрана (каледонский, герцинский, альпийский и др.) длительностью примерно 150 млн лет проявляются процессами частичного закрытия океанов вследствие столкновения отдельных микроконтинентов или крупных вулканических дуг с окраинами континентов. Циклы Штилле длительностью примерно 30 млн лет обнаруживаются фазами орогенеза вследствие столкновения вулканических дуг с континентами или микроконтинентами. Считается, что циклы Вильсона связаны с процессами общемантийной конвекции, циклы Бертрана — верхнемантийной, Штилле — с конвекцией в астеносфере.

Объяснение физической природы отдельных из этих циклов ищется в ротационном [Стовас, 1975], приливном [Авсюк, 2001] или эндогенном механизме воздействия, но теории из единых позиций, объясняющей происхождение каждого типа цикличности и ее величину (период), не создано. Интуитивно понятно, что обнаружение единого физического механизма для всех указанных типов цикличности может стать существенной предпосылкой объединения плюмтектонической и плейттектонической гипотез тектогенеза.

2. Исходим из того, что к экзогенным силам тектогенеза, кроме ротационных и приливных, относятся и гравитационно-волновые, связанные со строением и динамикой развития гравитационных масс Вселенной — галактик, групп галактик, скоплений групп галактик. Обоснование гравитационно-волновой гипотезы природы сил глобального циклообразования сводится к рассмотрению следующих проблемных вопросов:

- генерация и рассеяние гравитационных волн на дискретных структурах Вселенной с образованием неоднородных гравитационных волн (НГВ);
- механизм взаимодействия НГВ и тектоносферы Земли;

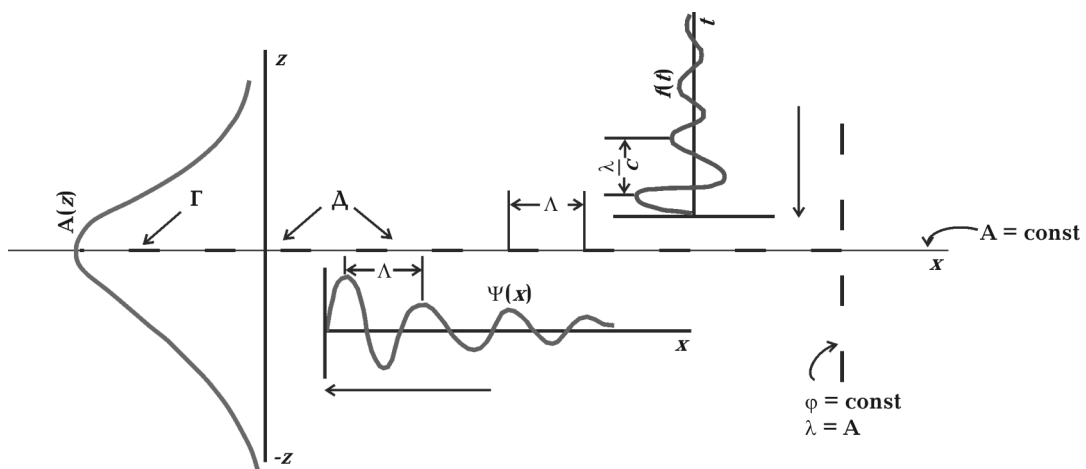
- экспериментальная проверка разработанных теоретических положений.

3. В общей теории относительности (ОТО) задача гравитации формулируется следующим образом: при известной правой части уравнения гравитационного поля, т. е. при известном тензоре энергии-импульса материи или полей, необходимо путем интегрирования уравнения определить метрику пространства—времени, искривленную этими массами (полями). Искривленность метрики пространства—времени и определяет тяготение. Континуум пространство—время характеризуется не только искривленностью, но и тем, что эта искривленность зависит от времени, поскольку кривизна пространства—времени связана с движением масс и полей. То, что поле кривизны зависит от времени, означает, что это поле колеблется, в силу чего можно говорить о "волнах кривизны" пространства—времени или же о гравитационных волнах как некоторой "ряби" на фоне кривизны пространства—времени [Захаров, 2003].

Физически это означает, что для генерации гравитационных волн необходимо, чтобы одна материальная система двигалась относительно другой с неравномерным ускорением, например, по эллиптическим, параболическим и другим орбитам. Практически все материальные системы Вселенной, от вращающегося вокруг ядра электрона до взаимно перемещающихся друг относительно друга галактических ассоциаций, движутся по такого рода орбитам.

Они генерируют гравитационные волны и в совокупности создают суммарное гравитационное волновое поле с широким частотным диапазоном, подобным спектру белого шума. Эффективная частота воздействия этого поля будет равна максимальной частоте в спектре белого шума, которая, в свою очередь, примерно по порядку равна частоте вращения электрона вокруг ядра. Из-за инерционных свойств тектоносферы Земли такое суммарное гравитационное волновое поле практически не может воздействовать на тектонические процессы на Земле.

Для преобразования рассматриваемого гравитационного волнового поля в гравитационную волну с частотами циклов Вильсона, Бертрана, Штилле необходимо, чтобы в космическом пространстве существовал частотный фильтр, который из общего гравитационного поля выделит энергию частотных составляющих с периодами в миллионы, десятки и сотни миллионов лет, т. е. равными периодам упомянутых циклов. В качестве одного из таких пространственно-временных фильтров исследуется дискретная структура Метагалактики, на узлах (галактиках) которой происходят рассеяние гравитационных волн и образование неоднородных плоских волн, распространяющихся вдоль плоскости Метагалактики (рисунок). Рассеяние энергии вселенского гравитационного волнового поля на дифракционной решетке Метагалактики сопровождается образованием неоднородной плоской гравитаци-



К механизму образования неоднородной плоской гравитационной волны: Δ — дифракционная решетка, образованная совокупностью галактик Γ — Метагалактикой со средним расстоянием между галактиками, равным Λ ; $f(t)$ — составляющая гравитационного волнового поля с периодом λ , t — время; $\psi(x)$ — неоднородная плоская гравитационная волна (НПГВ) с преобладающим значением пространственного периода, равным Λ , x — пространственная координата; $A = \text{const}$ — плоскость равных амплитуд НПГВ; $\varphi = \text{const}$ — плоскость равных фаз НПГВ; $A(z)$ — распределение амплитуды НПГВ вдоль координаты z .

онной волны (НПГВ) с периодом Λ , равным среднему расстоянию между галактиками, и с направлением движения вдоль плоскости дисковидной Метагалактики. Поскольку $\Lambda = c \times T / \sqrt{2}$, где c — скорость распространения света, то T определяет период, с которым НПГВ действует на материальные объекты галактик.

Разработка теории гравитационных волн имеет ту трудность, что волновое гравитационное уравнение должно иметь общековариантный вид, т. е. должно быть тензорным и существовать в неинерционных системах отсчета. В классической электродинамике, базирующейся на основах специальной теории относительности (СТО), существует класс привилегированных (декартовых) систем отсчета. Поэтому теория электромагнитных волн строится таким образом, чтобы волновой процесс для любого элемента поля Ψ ("волновой функции") описывался следующим дифференциальным уравнением (вне области размещения источников волн):

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} = 0. \quad (6)$$

Теоретическое рассмотрение гравитационных волн пока возможно лишь в декартовой системе отсчета, исходя из аналогии с полем электромагнитных волн. И хотя в ОТО отсутствуют привилегированные системы отсчета, решение гравитационно-волновой задачи в декартовой системе можно воспринимать как определенное приближение к действительному решению [Захаров, 2003]. Воспользуемся возможностью приближенного описания процесса распространения гравитационных волн с помощью уравнения (6) при рассмотрении их рассеяния на дифракционных решетках Вселенной.

Общим для модели строения как Галактики, так и Метагалактики будем считать наличие уплощенного дисковидного строения с дискретным размещением их составляющих — звезд внутри Галактики и галактик внутри Метагалактики (см. рисунок). Путем решения гравитационного волнового уравнения в приближении декартовой системы отсчета получено, что временной период T такой волны, измеряемый в годах, связан с пространственными характеристиками Метагалактики соотношением [Карпенко, 2004 б, в]

$$T = \sqrt{2} R / |c| \quad \text{или} \quad T = 4,6126 R^* / |c|, \quad (7)$$

где R — среднее расстояние между галакти-

ками в световых годах, а R^* — в парсеках; $|c|$ — размерность скорости распространения света.

4. Принимаются положения ОТО о независимости гравитационной константы G и массы покоя m_0 от влияния гравитационных волн. Обосновывается вывод о влиянии последних на тектоносферу Земли путем изменения характеристик континуума пространство—время (его кривизны), выражающегося в изменении ускорения силы тяжести g , результатом чего являются объемные пульсации Земли с частотой волны. Поскольку в центре Земли $g = 0$, то наибольшее относительное влияние со стороны неоднородной гравитационной волны на тектоносферу происходит через ядро Земли. Взаимодействие волны с веществом ядра независимо от ранга цикла и приводит к образованию периодических во времени массопереносов (конвекционных ячеек, плюмов) в мантии. Пространственная локализация плюмов определяется неоднородностью строения мантии и коры, а также ротационным режимом вращения Земли.

5. Дискретная структура строения Вселенной имеет следующие градации [Малая ..., 1998]: галактика, группа галактик, Метагалактика (совокупность групп галактик), Вселенная. Каждая из них характеризуется средним расстоянием между своими составляющими, которое и определяет средний период T образуемой на ней неоднородной гравитационной волны.

6. Среднее расстояние между звездами местной (относительно Солнца) группы звезд нашей Галактики составляет 7,84 св. лет, что приводит к значению $T = 11,09$ лет. Отсюда возможен вывод, что 11-летний цикл солнечной активности, как и 22-летний период изменения полярности магнитного поля Солнца, имеет гравитационно-волновую природу (звездный цикл).

7. Среднее оценочное расстояние между галактиками местной группы галактик (Галактика, Андромеда и 27 малых галактик) составляет $\approx 0,88$ млн св. лет, что соответствует значению $T = 1,24$ млн лет. Среднее временное расстояние между тектоническими (Т) фазами в плиоцене (аттическая, ронская, восточнокавказская, валахская) — 1,2 млн лет, что также свидетельствует в пользу их гравитационно-волновой природы. Средний период между палеомагнитными эпохами с чередующейся полярностью в плиоцене (Гильберт, Гаусс, Матюяма, Брюнес) $\approx 2,64$ млн лет, т. е. соответствует примерно удвоенному, как и должно быть,

периоду Т-фаз. Средняя протяженность ярусов в стратиграфической шкале (Харленд и др., 1985) в фанерозое также составляет 2Т. Отсюда возможен вывод, что для фанерозоя существует гравитационно-волновая (галактическая) периодичность тектонического процесса со средним периодом $T \approx 1,24$ млн лет, определяющим и смену палеомагнитных эпох с периодом 2Т, и смену климатических условий (длительность ярусов) также с периодом 2Т.

8. Среднее расстояние между группами галактик местной Метагалактики находится в диапазоне 2—4 мегапарсек (Мпс) или 6,5—13 млн св. лет, что соответствует периоду генерируемой такой системой неоднородной гравитационной волны, равному 9,2—18,4 млн лет. Анализ последовательности Т-фаз Штилле в каменноугольно-миоценовое время приводит к среднему значению периода между ними, равному ≈ 15 млн лет. Поэтому также возможен вывод, что для фанерозоя существует гравитационно-волновая (метагалактическая) периодичность тектонического процесса (Штилле) со средним периодом ≈ 15 млн лет.

9. Строение Вселенной характеризуется "ячеистой" структурой. В стенках ячеек толщиной 3—4 Мпс находятся галактики и группы галактик, тогда как линейные размеры ячеек в среднем составляют ≈ 100 Мпс. Такая ячеистая структура будет порождать гравитационную неоднородную волну со средним периодом 461 млн лет. Согласно [Жарков, 1983], периодичность раскрытия—закрытия океанских систем составляет примерно 200 млн лет (раскрытие в среднем венде, раннем девоне, ранней юре). Закрывание каждой океанской системы осуществляется одновременно с раскрытием последующей ортогонально ориентированной к ней океанской системы. Поэтому период раскрытия одинаково ориентированных систем удваивается и составляет примерно 400 млн лет. С учетом значений скоростей разбегания галактик (расширения Вселенной) в начале фанерозоя (600 млн лет назад) расстояние между стенками ячеек должно было равняться примерно 89 Мпс, а длина генерируемой волны ≈ 411 млн лет. Это в целом соответствует геологическим данным о длительности периода Вильсона (вселенского периода).

10. Из проведенного рассмотрения вытекает, что циклы складчатости Бертрана по происхождению не являются самостоятельными и, скорее всего, соответствуют полупериодам Вильсона, поскольку в конце каждого полупериода происходит закрытие предыдущей оке-

анской системы и, следовательно, имеют место коллизионные процессы, сопровождающиеся образованием складчатости.

11. Таким образом, исходя из строения Вселенной, базовыми периодами тектогенеза гравитационно-волновой природы являются период Вильсона длительностью более 400 млн лет, период Штилле со средней длительностью 15 млн лет, галактический период со средней длительностью 1,24 млн лет и звездный период со значением 11 лет. Ими определяется как тектоническая история Земли, так и частично климатическая.

Несмотря на общность природы их образования, проявление каждого типа периодичности в тектонической истории развития Земли имеет свои особенности. Например, Т-фазы Штилле во внутриконтинентальных рифтовых бассейнах фиксируются через вертикальные движения, а при закрытии океанов они могут проявляться в горизонтальных движениях частей литосферы (через раскрытие задуговых рифтовых бассейнов и т. д.). Поэтому неправильно ту или иную периодичность привязывать к одному типу движения литосферы (например, Штилле — к вертикальным движениям, а Вильсона — к горизонтальным). Каждый тип периодичности воздействует через вещество ядра на мантийный массоперенос по одним и тем же физическим законам, и только локальные характеристики внутренне неоднородной Земли определяют характер реализации тектонического процесса.

12. Несмотря на всепланетарность периодов Вильсона (вселенского), Штилле (метагалактического) и галактического, их воздействие на тектоносферу Земли не может сопровождаться абсолютной синхронизацией развития всех осадочных бассейнов Земли. Это развитие обусловлено особенностями образования и строения индивидуального для каждого бассейна коромантийного плюма или теплового потока с индивидуальной импульсной реакцией коры Земли в месте нахождения бассейна на его влияние. Однако синхронизирующее влияние гравитационно-волновых процессов на развитие осадочных бассейнов, несомненно, имеет место. Указанное позволяет при корректно выработанной методике анализа не только подтвердить всепланетарность, например, тектонических фаз Штилле, но и уточнить их временное положение по размещению на сейсмических разрезах палеоповерхностей выравнивания регионального (субрегионального) распространения.

Обсуждение и выводы. 1. Практически для всех тектонических гипотез глобального структурообразования общим является необходимость дополнительного воздействия, внешнего или внутреннего, способного инициировать тектонический процесс, т. е. перевести систему из эволюционного состояния развития в катастрофическое. В настоящей работе предложен и обоснован такой механизм гравитационно-ротационной тектоники (синергетической тектоники), который не нуждается в дополнительных энергетических воздействиях, т. е. является самоорганизующимся.

2. Синергетическая тектоника — это следующий уровень в развитии тектонической науки, занимающейся изучением процессов самоорганизации и возникновения, поддержания устойчивости и распада тектонических структур различной природы. Самоорганизующиеся системы не характеризуются состоянием изостатического (в нашем случае) равновесия, так как принципиально неравновесные. Факта существования в толще Земли стационарной системы циклических течений коромантийного вещества достаточно для характеристики ее как неравновесной открытой самоорганизующейся системы. Другой пример такой системы — функционирующая на поверхности Земли стационарная система океанических течений.

3. Эволюционное развитие вращающейся вокруг собственной оси Земли рассматривается как развитие неравновесной системы, рано или поздно заканчивающееся катастрофическим процессом ортогонального изменения оси вращения. Действующим фактором, ведущим к катастрофе, выступает не сила, а эволюционный процесс достижения Землей состояния энергетического (изостатического) равновесия, который и становится причиной последующей катастрофы. В понятиях термодинамики это соответствует второму началу термодинамики (в наиболее общей его формулировке): при реальных (необратимых) адиабатических процессах энтропия возрастает, достигая максимального значения в состоянии равновесия системы.

4. Обосновывается, что если вследствие конвекционного перетекания коромантийного вещества полярный момент инерции сравнивается с одним из экваториальных, т. е. достигается состояние равновесия, то осью вращения становится вторая экваториальная ось с меньшим значением момента инерции. При этом для ортогонального изменения оси вращения

Земли нет необходимости в наличии внешних сил. Не происходит также потери энергии вращения на осуществление катастрофы; энергия вращения перераспределяется по главным осям момента инерции, но в сумме остается той же. Этим предлагаемый механизм глобального структурообразования отличается от большинства ротационных гипотез, в которых для реализации процесса структурообразования необходима энергия вращения.

5. Отмечено также отличие предложенного механизма ортогонального изменения оси вращения от варианта, рассмотренного в работе [Storetvedt, 1997]. В последней постулируется общий разворот всей Земли на 90° . Разворот вызывается выбросом большой массы вещества из ядра в мантию. Нарушенный баланс масс в мантии восстанавливается сменой оси вращения Земли. Сначала происходит нарушение гравитационно-инерционного равновесия (выброс вещества из ядра в мантию, причина которого остается гипотетической), а затем, как следствие, смена оси вращения. В нашем случае, наоборот, смена оси вращения происходит в процессе достижения, а не нарушения гравитационно-инерционного равновесия, что принципиально, поскольку не требуется никаких дополнительных энергетических воздействий на систему.

6. Факт наступления катастрофы связан с тем, что второе начало термодинамики не является абсолютным, оно нарушается при наличии флуктуаций, что и приводит к катастрофическому изменению достигнутого состояния равновесия системы. Другими словами, чем ближе подобная система к состоянию равновесия, тем более она подвержена даже незначительным влияниям внешних условий, в которых она пребывает.

7. Природа этого влияния следующая. Процесс достижения системой состояния потери устойчивости в общем случае бесконечный во времени. Чем ближе значение полярного момента инерции к значению одного из экваториальных моментов, тем меньше интенсивность коромантийных течений и тем больше отдалится достижение условия равенства этих моментов. Упомянутые выше флуктуации или дополнительные воздействия связаны с синхронизирующим воздействием мирового гравитационно-волнового поля, природа которого не является силовой. Воздействует не сила, а изменение внешних условий протекания внутренних процессов. В связи с этим отмечено, что представление гравитационного влия-

ния ускорением силы тяжести из выражения для силы Ньютона — всего лишь “силовая” аппроксимация влияния кривизны пространства—времени.

8. Поле кривизны не постоянно, а зависит от времени, поскольку определяется изменяющейся во времени структурой Вселенной. Это означает, что поле колеблется, поэтому можно говорить о “волнах кривизны” пространства—времени или же о гравитационных волнах как некоторой “ряби” на фоне общей кривизны пространства—времени. Рассматривается дискретная структура Вселенной, на узлах которой (звездах, галактиках, группах галактик) происходят рассеяние таких гравитационных волн и образование из них неоднородных плоских волн [Карпенко, 2007а, б]. Периоды этих волн определяются расстояниями между узлами, как и периоды основных тектонических циклов Земли. Показано, что исходя из строения Вселенной базовыми периодами тектогенеза гравитационно-волновой природы являются период Вильсона длительностью более 400 млн лет, период Штилле со средней длительностью 15 млн лет, галактический период со средней длительностью 1,24 млн лет и звездный период со значением 11 лет. Ими обуславливается как тектоническая история Земли, так и частично климатическая.

9. С помощью трех тектонических периодов (Вильсона, Штилле и галактического) может быть объяснено, по-видимому, большинство из наблюдаемых глобальных тектонических цикличностей. Поэтому они являются базовыми для тектонической таксономии. По-

скольку период Вильсона связан с периодичностью изменения положения оси вращения Земли, он определяет периодичность раскрытия и закрытия океанических систем. Каждому периоду соответствует также конкретный этап развития океанической системы или континентальной окраины — дивергентный, конвергентный или коллизионный. Совокупность названных этапов составляет цикл Вильсона.

T-фазы Штилле имеют подчиненное значение, они накладываются на период Вильсона, убыстряя или замедляя протекание тектонического процесса. То же касается и галактического периода со значением 1,24 млн лет. Он накладывается на периоды Вильсона и Штилле, интерферирует с ними, еще более усложняя наблюдаемую суммарную тектоническую периодичность в тектоносфере Земли. Галактический период проявляет себя в значении средней длительности такого широко используемого палеонтологического стратона, как ярус. Периодом Вильсона определяется тектонический таксон с названием “T-стадия”, которая, в свою очередь, делится на T-эпохи, а последние — на T-фазы.

Благодарность. Автор считает своим долгом почтить память академика АН СССР, РАН и многих национальных и международных академий В.Е. Хаина, который в своей работе [Хайн, 2010] поддержал разрабатываемое автором направление в тектонике и тем самым стимулировал написание настоящей статьи. Автор признателен научному сотруднику ДП “Науканефтегаз” О.А. Строгуш за помощь в подготовке статьи.

Список литературы

- Авсюк Ю.Н. Внемземные факторы, воздействующие на тектогенез // Фундаментальные проблемы общей тектоники / Под ред. Ю.М. Пущаровского. — Москва: Науч. мир, 2001. — С. 425—443.
- Єсипович С.М. Циклічність геологічних процесів в формуванні земної кори: Автореф. ... д-ра геол. наук. — Київ, 2004. — 27 с.
- Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. — Москва: Наука, 1983. — 416 с.
- Захаров В.Д. Тяготение. От Аристотеля до Эйнштейна. — Москва: БИНОМ. Лаб. знаний, 2003. — 278 с.
- Зоненшайн А.П., Кузьмин М.И. Палеогеодинамика. — Москва: Наука, 1993. — 192 с.
- Карпенко І. В. Тектоно-сідиментаційне рівняння в задачі сейсмостратифікації осадових товщ // Геофиз. журн. — 1995. — 17, № 3. — С. 52—57.
- Карпенко І.В. Физическая природа циклов Вильсона, Бертрана, Штилле // Эволюция тектонических процессов в истории Земли. Материалы 37-го тектон. совещ. Т 1. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, фил. “Гео”, 2004 а. — С. 217—220.
- Карпенко І.В. Теоретичні основи гравітаційно-

- хвильової гіпотези природи довгоперіодичних тектонічних сил // Зб. наук. праць УкрДГРІ. — Київ, 2004 б. — № 1. — С. 32—43.
- Карпенко І.В.* Експериментальні підтвердження гравітаційно-хвильової гіпотези природи довгоперіодичних тектонічних сил // Зб. наук. праць УкрДГРІ. — Київ, 2004 в. — № 1. — С. 44—55.
- Карпенко І.В.* Фізичні основи тектоніки глобальних катастроф // Зб. наук. праць УкрДГРІ. — Київ, 2007 а. — № 3. — С. 74—82.
- Карпенко І.В.* Тектоніка глобальних катастроф: направленість та етапність тектонічного процесу // Зб. наук. праць УкрДГРІ. — Київ, 2007 б. — № 3. — С. 83—93.
- Карпенко І.В., Приходченко О.Є.* Тектоностадії циклу Вільсона // Зб. наук. праць УкрДГРІ. — Київ, 2009. — № 3. — С. 96—107.
- Карпенко І.В.* Тектонічна стратифікація континентальної окраїни півдня України // Зб. наук. праць УкрДГРІ. — Київ, 2009. — № 1—2. — С. 68—81.
- Карпенко І.В.* Гравітаційний потенціал: определение и измерение в точках поверхности несферического неоднородного тела // Геофиз. журн. — 2011. — **33**, № 4. — С. 74—88.
- Каттерфельд Г.Н.* Лик Земли и его происхождение. — Москва: Географиздат, 1962. — 152 с.
- Кузьмичев В.Е.* Законы и формулы физики / Отв. ред. В.К. Таргаковский. — Киев: Наук. думка, 1989. — 864 с.
- Лейбензон А.С.* Собрание трудов. Т. 9. Геофизика. — Москва: Изд-во АН СССР, 1965. — С. 169—396.
- Лобковский Л.И., Никишин А.М., Хаин В.Е.* Современные проблемы геотектоники и геодинамики. — Москва: Науч. мир, 2004. — 612 с.
- Малая энциклопедия современных знаний / Сост.* В.А. Менделев. — Харьков: Торсинг, 1998. — 768 с.
- Павленкова Н.И.* Эмпирические основы ротационно-флюидной гипотезы глобального тектоногенеза // Геофиз. журн. — 2004. — **26**, № 6. — С. 41—60.
- Стовас М.В.* Избранные труды. — Москва: Недра, 1975. — Ч. 1. — 155 с.
- Тяпкин К.Ф.* Новая ротационная гипотеза формирования тектонических структур в земной коре // Геол. журн. — 1974. — **34**, № 4. — С. 3—16.
- Тяпкин К.Ф.* Новая модель геостазии и тектогенеза // Геол. журн. — 1985. — **45**, № 6. — С. 1—10.
- Тяпкин К.Ф.* Фізика Землі: Підручник. — Київ: Вища шк., 1998. — 291 с.
- Тяпкин К.Ф., Довбнич М.И.* О напряжениях, возникающих в тектоносфере в результате изменения ротационного режима упруговязкой Земли // Геофиз. журн. — 2002. — **24**, № 2. — С. 52—59.
- Хаин В.Е.* Крупномасштабная цикличность, ее возможные причины и общая направленность тектонической истории Земли // Фундаментальные проблемы общей тектоники / Под ред. Ю.М. Пушаровского. — Москва: Науч. мир, 2001. — С. 403—424.
- Хаин В.Е.* Об основных принципах построения подлинно глобальной модели динамики Земли // Геология и геофизика. — 2010. — **51**, № 6. — С. 753—760.
- Цареградский В.А.* К вопросу о деформациях земной коры // Проблемы планетарной геологии. — Москва: Госгеолтехиздат, 1963. — С. 149—221.
- Storøtvedt K.* Our evolving planet: Earth history in new perspective. — Bergen, Norway: Alma mater, 1997.