МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

СЛОЖНЫЕ СИСТЕМЫ

Истина всегда рождается как ересь,
а умирает как предрассудок
Георг Вильгельм Фридрих Гегель

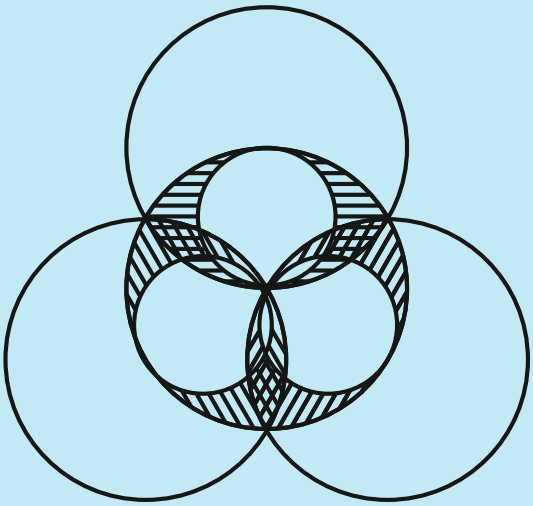
№1 (34), 2020

В НОМЕРЕ:

Приведены основные этапы вывода дифференциальных уравнений вращательного движения Земли. На основании особенностей кинетического момента показаны периоды колебания оси Земли.

Рассматривается процесс приближения самоорганизующейся системы к эволюционной зрелости, что позволяет в приложении объяснить для четырёх планет Солнечной системы характеристики их орбит.

Предложен подход для углублённого понимания процессов, лежащих в основе развития человечества в целом; разработаны критерии поиска компонент или групп компонент такой системы; рассмотрена динамика ее развития во времени.



Подписной индекс: 88852
Издательство ООО «СЕЛЬМАШПРОЕКТ»
111402, г. Москва, аллея Жемчуговой, д.5, корп. 2, 109/7
Тел./Факс: +7 495 978 62 99
E-mail: mail@systemology.ru

ВЫХОДИТ С ОКТЯБРЯ 2011 г.

СЛОЖНЫЕ СИСТЕМЫ

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Январь – Март **№ 1 (34), 2020**

Главный редактор Иванов О.П. (к.г.-м.н., МЗ МГУ им. М.В. Ломоносова)
Зам. главного редактора Князева Е.Н.(д.филос.н., профессор НИУ ВШЭ)
Ответственный секретарь Старцев В.В.(доцент, Институт системологии)

Редакционный Совет

Боголепова И.Н. (академик РАН, д.мед.н., проф., зав.лаб. научного Центра неврологии РАМН, Москва, Россия); **Гершензон К.** (д.ф.-м.н .(PhDr), проф. Национального автономного университета города Мехико, Мексика); **Эрди П.** (д.ф.-м.н. (PhDr), Центр по исследованию сложных систем в Колледже Каламазу, штат Мичиган, США); **Игамбердиев А.У.** (д.б.н.(PhDr), проф. факультета биологии Университета Ньюфаундленда, Канада); **Майнцер К.** (д.филос.н.(PhDr), зав. каф. философии и теории науки Технического университета Мюнхена, президент Германского общества сложных систем и нелинейной динамики, Мюнхен, Германия); **Малинецкий Г.Г.** (д.ф.-м.н., проф., Институт прикладной математики (ИПМ) им. М. В. Келдыша РАН, Москва, Россия); **Панин В.Е.** (академик РАН, д.ф.-м.н., проф., Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия); **Поспелов И.Г.** (чл.-кор. РАН, д.ф.-м.н., проф., зав. отделом Вычислительного центра им. А.А. Дородницына РАН, Москва, Россия); **Хофкирхнер В.** (д.филос.н. (PhDr), президент Центра Берталанфи по изучению науки о системах, Вена, Австрия)

Редакционная коллегия

Голиченков В.А. (д.б.н., проф., МГУ, Москва, Россия); **Клиге Р.К.** (д.геогр.н., проф., МГУ, Москва, Россия); **Куркина Е.С.** (д.ф.-м.н., МГУ, Москва, Россия); **Магницкий Н.А.** (д.ф.-м.н., проф., МГУ, Москва, Россия); **Мелехова О.П.** (д.б.н., МГУ, Москва, Россия); **Орынбасаров А.С.** (к.т.н., НПО «Инновационные нанотехнологии Казахстана», Астана, Казахстан); **Ризниченко Г.Ю.** (д.ф.-м.н., проф., МГУ, Москва, Россия); **Сафьянов Г.А.** (д. геогр. н., проф., МГУ, Москва, Россия); **Суриков В.В.** (д.ф.-м.н., проф., МГУ, Москва, Россия); **Чуличков А.И.** (д.ф.-м.н., проф., МГУ, Москва, Россия); **Шанявский А.А.** (д.т.н., проф., ФАУ «Государственный центр «Безопасность полетов на воздушном транспорте», Москва, Россия), **Кирилишина Е.М.** (к.г.-м.н., МГУ, Москва, Россия; технический редактор)

УЧРЕДИТЕЛЬ: ООО «СЕЛЬМАШПРОЕКТ», 2018

Междисциплинарный научный журнал «СЛОЖНЫЕ СИСТЕМЫ» зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-42729 от 25.11.10 г.
Регистрационный номер внесения изменений в запись о регистрации СМИ ПИ № ФС77-73604 от 31.08.2018 г. **ISSN № 2220-8569**
Сдано в набор 29.02.2020. Подписано в печать 30.04.2020. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура таймс. Печать лазерная. Усл. печ. л. 10,3. Тираж 50 экз. Заказ 188. Цена свободная.
Издательство: ООО «СЕЛЬМАШПРОЕКТ»
Адрес редакции и издательства: 111402, Россия, г. Москва, аллея Жемчуговой, д. 5, корп.2, пом. 109, ком. 7.
Тел./Факс: +7(495) 941-62-72, **thecomplexsystems.ru**; e-mail: mail@systemology.ru
Подписной индекс **88852**

Компьютерная верстка издательства ООО «СЕЛЬМАШПРОЕКТ» **www.технопарк.рф технопарк®**
Типография ООО «СЕЛЬМАШПРОЕКТ», 111402, г. Москва, аллея Жемчуговой, д.5, корп. 2, 109/7.

© ООО «СЕЛЬМАШПРОЕКТ», 2020
© Коллектив авторов, 2020

Перепечатка и перевод статей – только со ссылкой на журнал

FIRST PUBLISHED: **October 2011**

THE COMPLEX SYSTEMS

SLOZHNYE SISTEMY

Interdisciplinary Scientific Journal

January - March **№ 1 (34), 2020**

Editor in Chief Ivanov O.P. (MSU, Moscow, Russia)
Deputy chief Editor Knyazeva H.N. (NRU HSE, Moscow, Russia)
Assistant Editor Startsev V.V. (Institute of Systemology, Moscow, Russia)

Editorial council

Bogolepova I.N. (Research Center of Neurology RAMS, Moscow, Russia);
Gershenson C. (National Autonomous University of Mexico, Mexico);
Erdi P. (Center for Complex Systems Studies of Kalamazoo College, Michigan, United States);
Igamberdiev A.U. (Memorial University of Newfoundland, Canada);
Mainzer K. (Munich Center for Technology in Society, Munich, Germany);
Malinetskii G.G. (Keldysh Institute of Applied Mathematics, Moscow, Russia);
Panin V.E. (Institute of Strength Physics and Materials Science, SB RAS, Tomsk, Russia);
Pospelov I.G. (Dorodnicyn Computing Centre, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia);
Hofkirchner W. (Bertalanffy Center for the Study of Systems Science (BCSSS), Vienna, Austria)

Editorial board

Golichenkov V.A. (MSU, Moscow, Russia); **Klige R.K.** (MSU, Moscow, Russia); **Kurkina E.S.** (MSU, Moscow, Russia); **Magnitskii N.A.** (MSU, Moscow, Russia); **Melekhova O.P.** (MSU, Moscow, Russia); **Orynbassarov A.S.** (SPA «Innovative nanotechnology of Kazakhstan», Astana, Kazakhstan); **Riznichenko G.Yu.** (MSU, Moscow, Russia); **Safyanov G.A.** (MSU, Moscow, Russia); **Surikov V.V.** (MSU, Moscow, Russia); **Chulichkov A.I.** (MSU, Moscow, Russia); **Schanyavskii A.A.** (State Center Air Transport Flight Safety, Khimki, Moscow region, Russia); **Kirilishina E.M.** (MSU, Moscow, Russia; technical editor)

Publishing company: LlC «AGROMASHPRO», 2018
Federal Service for Supervision in the Sphere of Communications, Information Technology and Mass Communications (Roskomnadzor)
Certificate of registration of mass communication media ПИ No. ФС77-42729 as of November 25, 2010
Registration number of changes ПИ No. ФС77-73604 as of August 31, 2018
ISSN No. 2220-8569

Sent for the press 30.04.2020. Format 60×88 1/8. Circulation 50. Publishing company:
LlC «AGROMASHPRO» Address of Editorial office: 5/2, alleya Zhemchugovoy, office 109/7, Moscow, 111402, Russia. Postal address: Maria A. Vinnik, p/b 41, Moscow, 105318, Russia Tel./Fax: +7(495) 978 62 99*;* thecomplexsystems.ru*;* E-mail: mail@systemology.ru. Subscription index in the integrated catalog «Press of Russia» 88852 **Frequency: Quarterly**

Typography: LlC «Agromashpro», 5/2, alleya Zhemchugovoy, office 109/7, Moscow, 111402, Russia, www.технопарк.рф **технопарк ®**

© LlC «AGROMASHPRO», 2020
© Group of authors, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Фундаментальные исследования

Смульский И.И. Эволюция вращательного движения Земли за миллионы лет. **4**

Новые идеи, подходы

Смирнов В.Л. Расщепление разрешенных состояний в сложной самоорганизующейся системе. Часть 3. **50**

Дискуссионные аспекты

Торвич В.В. Человечество как система. Часть 1. **72**

CONTENTS

Basic researches

Smulsky J.J. The evolution of the Earth`s rotational movement for million years. **4**

New ideas, approaches

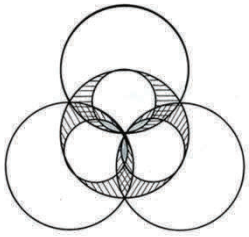
Smirnov V.L. Splitting of allowed states in a complex self-organized system. Part 3. **50**

Debatable aspects

Torvich V.V. Humanity as a system. Part 1. **72**

УДК 521.172 + 523.2

ЭВОЛЮЦИЯ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ЗЕМЛИ ЗА МИЛЛИОНЫ ЛЕТ



Смульский И.И. (д. ф.-м. н., профессор)
Институт криосферы Земли, ТюмНЦ СО РАН, Федеральный Исследовательский Центр, г. Тюмень, РФ; ***jsmulsky@mail.ru***

Аннотация. В статье приведены основные этапы вывода дифференциальных уравнений вращательного движения Земли. На основании особенностей кинетического момента показаны периоды колебания оси Земли. Обсуждены константы уравнений, начальные условия и приведена теория их вычислений. Рассмотрены результаты численного интегрирования уравнений на интервалах времени от 0.1 года до 1 млн. лет. Рассмотрена теория преобразования решений к подвижной плоскости орбиты Земли за миллионы лет, и их результаты представлены на разных интервалах времени от 100 лет до 20 млн. лет. Проанализирована эволюция оси Земли. Установлено, что ось Земли прецессирует относительно неподвижного в пространстве направления, которое отличается от направления прецессии планетарных орбит. Приведены физические объяснения полученных колебаний оси Земли от 14.68° до 32.68°. Показаны колебания периода вращения Земли. Представлены доказательства достоверности полученных решений. Работа представляет интерес для широкого круга исследователей в областях астрономии, палеоклимата и геофизики.

Ключевые слова: дифференциальные уравнения, вращение Земли, прецессия, колебания, эволюция, периоды, причины, Луна, Солнце, планеты.

1. ВВЕДЕНИЕ

Задача о вращении Земли за большие интервалы времени является одной из трех составляющих Астрономической теории палеоклимата [12, 13, 29]. В прежних ее вариантах, начиная с Милутина Миланковича [5], эта задача явно не фигурировала. Вращение плоскости экватора использовалось для определения прецессии перигелия орбиты Земли относительно подвижного экватора. Для этого использовались решения уравнений Пуассона.

По словам П.С. Лапласа [2] задачу о вращении Земли впервые рассмотрел И. Ньютон. С тех пор уравнения вращательного движения неоднократно выводились разными авторами. При этом они основывались на разных теоремах механики, использовались разные системы координат, разные обозначения и разные методы решения. Все авторы в процессе вывода уравнений начинали их упрощать с целью дальнейшего решения уравнений аналитическими методами. В подавляющем большинстве случаев в этих уравнениях отбрасывались вторые производные и произведения первых производных. Полученные уравнения называются уравнениями Пуассона.

В связи с этим отсутствуют общепринятые неупрощенные дифференциальные уравнения вращения Земли, которые без всякого изменения можно было бы подвергнуть численному интегрированию. Кроме того, при численном интегрировании возникает ряд конкретных проблем, например, задание начальных условий, которые невозможно решить, если детально не представлять все особенности вывода дифференциальных уравнений.

Часто возникают противоречия между трактовкой сложного вращательного движения Земли в астрономии и требованиями, которые следуют из законов механики. В связи с этим нам пришлось проанализировать разные выводы уравнений, в результате чего был выбран наиболее простой, который и представлен в настоящей работе. Ввиду его объемности здесь приведены лишь принципиальные положения и дана логическая схема вывода главных этапов.

Во второй половине 20-го века были введены в действие высокоточные системы наблюдения вращения Земли, которые позволили исследовать динамику Земной оси на малых интервалах времени. С целью ее объяснения были созданы теории прецессии и нутации. Расхождение между этими теориями и наблюдениями вынудило исследователей кроме основного гравитационного воздействия вводить дополнительные эффекты [22]. Перечислим некоторые из них. Для расчета гравитационного взаимодействия элемента массы Земли с точечным телом вводилась коррекция на распределение геопотенциала по поверхности Земли. Кроме того, рассматривалась неосесимметричная Земля с неравными между собой моментами инерции J_x и J_y, различие которых также определилось по поверхностному геопотенциалу. Вводилась коррекция на торможение вращения Земли за счет приливных сил. В уравнениях вращательного движения к гравитационным силам добавлялись также релятивистские силы путем учета геодезической прецессии [19], а также учетом релятивистской добавки в силовой функции в уравнениях для орбитального движения [24].

Для объяснения различия между теорией и наблюдениями вводили модели нежесткой Земли, а также структурированную Землю, в которой каждая структура, например, ядро Земли, имеют свое движение [20]. Также представляется, что перераспределение льда в полярных областях ведёт к изменению моментов инерции на длительных интервалах времени. Поэтому его учитывают при рассмотрении эволюции Земли за большие промежутки времени.

Практически все дополнительные эффекты не определены так точно, как гравитационное воздействие. Влияние ряда из них носит гипотетический характер. Некоторые из них предложены специалистами из разных областей физики, и специалистам в теоретической и небесной механике приходится применять их на веру, не подвергая строгому анализу. К таковым относятся релятивистские добавки. Эти силы зависят не только от расстояния, но и от скорости [7]. В теоретической механике системы с такими связями называются неголономными системами. Для неголономных систем энергетические методы механики требуют коррекции. А без коррекции уравнения движения общей теории относительности входят в противоречия с законами сохранения.

Все эти дополнительные слабые воздействия основаны на расхождениях между расчетами основного гравитационного воздействия на вращательное движение Земли и наблюдениями. Однако, этот расчет, как отмечалось ранее, выполнен приближенно. При выводе дифференциальных уравнений вращательного движения Земли существует целый ряд упрощений этих уравнений, которые могут давать отличия результатов расчетов от наблюдения. Поэтому представляет большой интерес получение как можно более точных решений на основании только одного гравитационного взаимодействия, чтобы не возникало сомнений, что невязки расчетов с наблюдениями действительно должны объясняться другими факторами. Это положение приобретает еще большую актуальность

при исследовании вращательного движения за большие периоды времени. Дополнительные слабые воздействия, которые введены на подгонке результатов расчетов к наблюдениям за сотни лет, могут давать нереальные результаты на интервалах в миллионы лет. В связи с этим, далее рассматривается только ньютоновское гравитационное воздействие на вращательное движение осесимметричной Земли.

Проблема вращательного движения Земли является самой сложной задачей механики, в том числе и небесной механики. Этой проблемой автор занимался более десяти лет. На протяжении 50 лет работе над ней предшествовали и сопутствовали другие работы по взаимодействиям и движениям тел [7, 10], в результате которых решены десятки нерешенных ранее проблем. Тем не менее, когда в результате решения задачи о вращении Земли были получены большие колебания оси Земли, превышающие колебания прежних решений в 7-8 раз, автора это насторожило. Поэтому в течение трех лет были проведены различные проверки и решения этой задачи другими методами. Все они подтвердили достоверность полученных решений [28].

Это позволило включить результаты задачи о вращении Земли в новую Астрономическую теорию палеоклимата. Ее результаты совпали с совокупностью сведений о палеоклимате за последние 50 тыс. лет [11]. Чем дальше в прошлое, тем неопределеннее становятся представления о палеоклимате. Однако, для автора совершенно ясно, что как день сменяет ночь, а на смену лета приходит зима, так точно в высоких широтах потепления сменяются похолоданиями. Все эти явления обусловлены характеристиками орбитального и вращательного движения Земли и их эволюцией. Поэтому нет сомнения, что новые решения по эволюции вращательного движения Земли, включенные в Астрономическую теорию климата, позволят палеоклиматологам с уверенностью систематизировать знания о прошлом, а также уточнять их возраст.

Отмеченное совпадение результатов с палеоклиматом позволило автору более детально рассмотреть результаты задачи о вращении Земли. В отличие от прежних представлений в небесной механике и астрономии, вместо математических объектов: прецессия от планет, прецессия от Луны и Солнца и т.п. автор вводит физические объекты: ось вращения Земли, ось орбиты и т.д. Поэтому рассматривается не математическая эволюция, а эволюция физических объектов. Детальный анализ этой эволюции объясняет причины больших колебаний оси Земли, а также становится понятным, почему предшественники получали неверные результаты.

Следует также отметить, что автор использует не энергетический подход в механике, а силовой. Особенности поведения момента силы определяют колебания оси Земли и их периоды. Как особенности эволюции, так и особенности момента силы являются дополнительными доказательствами достоверности полученных результатов.

В статье также рассмотрены короткопериодическая эволюция оси Земли, а также вопросы колебания ее скорости вращения. В физике Земли эти проблемы привлекают для понимания ее строения. Полученные в статье новые результаты представляют интерес для специалистов в этой области.

2. ТЕОРЕМА МОМЕНТОВ

Вращающаяся Земля, как нетвердое, т.е. подвижное, тело, принимает равновесную осесимметричную форму под действием двух систем сил: гравитационных и

центробежных. Она образует сплюснутый у полюсов геоид с осью симметрии z (рис. 1), расположенной по вектору угловой скорости $\vec{\dot{\varphi}}$ собственного вращения. Этот вектор совершает сложное движение в пространстве, которое представляет абсолютная скорость вращения Земли $\vec{\omega}$ в невращающейся системе координат $x_1y_1z_1$. Угловая скорость $\vec{\dot{\varphi}}$ наклонена под углом θ к оси z_1.

Любое тело B, находящееся в плоскости своей орбиты 3, воздействует на две половины Земли: на ближнюю – силой $\vec{F}_1$ и дальнюю – силой $\vec{F}_2$. Если бы Земля была центрально-симметричным шаром, то равнодействующая сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ прошла бы через центр Земли O. Для сплюснутой Земли центр масс ближней части Земли приблизится к телу B, а дальней – удалится. Поэтому сила $\vec{F}_1$ увеличится, а сила $\vec{F}_2$ уменьшится, в результате чего возникнет момент сил m_O, направленный по часовой стрелке.

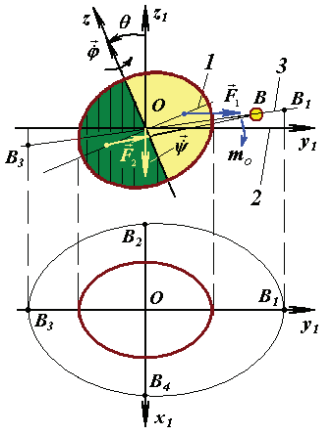


Рис. 1. *Схема воздействия тела B на Землю в двух видах: вверху – в вертикальной плоскости, перпендикулярной плоскости экватора 1, внизу – в горизонтальной плоскости перпендикулярной оси z_1; 1 и 2 – плоскости экватора Земли и ее орбиты, соответственно; 3 – плоскость орбиты воздействующего на Землю тела B.*

В результате воздействия момента сил ось z Земли начнет поворачиваться вокруг точки O с угловыми скоростями $\dot{\theta}$ и $\dot{\psi}$. Вектор абсолютной угловой скорости Земли будет

$$\vec{\omega} = \vec{\dot{\varphi}} + \vec{\dot{\theta}} + \vec{\dot{\psi}}\,. \qquad (1)$$

Этот процесс воздействия на Землю определяется теоремой изменения момента количества движения:

$$\frac{d\vec{K}_O}{dt} = \sum \vec{m}_O(\vec{F}_k)\,, \qquad (2),$$

где $\vec{K}_O$ – момент количества движения Земли относительно центра O в невращающейся системе координат $x_1y_1z_1$;

$\sum \vec{m}_O(\vec{F}_k)$ – сумма моментов сил $\vec{F}_k$, действующих на Землю тел.

Из анализа теоремы моментов (2) можно установить периоды колебаний оси Земли. Максимальные моменты сил $m_{O\max 1}$ тело B создает в точках B_1 и B_3, причем одного и того же направления. При нахождении тела в плоскости экватора (точки B_2 и B_4) моменты сил

равны нулю, т.е. за одно обращения тела по орбите момент силы дважды изменяется от *0* до $m_{O\max 1}$. Поэтому ось Земли будет подвержена колебаниям с полупериодами обращения планет, Солнца и Луны относительно подвижной плоскости экватора.

В своем орбитальном движении Земля и планеты сближаются. Если сближение произойдет в точке B_1 или B_3, то максимальный момент возрастет до значения $m_{O\max 2}$. Поэтому ось Земли будет испытывать колебания с периодами сближений Земли с планетами, особенно близкими к Земле, в точках B_1 и B_3.

Так как орбиты Земли, Луны и планет не лежат в одной плоскости и не круговые, а эллиптические, то эти два обстоятельства приведут к модуляции отмеченных выше периодов. Например, амплитуда колебания оси Земли будет больше в той полупериод обращения Луны вокруг Земли, когда Луна будет находиться в своем перигее.

Момент силы, который создает тело *B*, зависит также от угла наклона между плоскостью подвижного экватора *1* (рис. 1) и плоскостью орбиты *3*. Поэтому ось Земли будет испытывать колебания с периодом прецессии орбиты тела относительно подвижной плоскости экватора Земли. Например, период прецессии орбиты Луны равен 18.6 лет. Так как он значительно меньше период прецессии плоскости экватора (25.7 тыс. лет), то с периодом 18.6 лет ось Земли будет испытывать еще одни колебания при воздействии Луны. А период прецессии орбиты Земли (68.7 тыс. лет) сопоставим с периодом 25.7 тыс. лет. Поэтому кроме полугодовых Солнце будет создавать колебания, период которых определяется разностью скоростей прецессии орбиты Земли и ее экватора.

3. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Дифференциальные уравнения вращательного движения Земли выводятся из теоремы моментов (2). Для этого необходимо, с одной стороны, выразить момент количества движения Земли $\vec{K}_O$ в зависимости от ее моментов инерции и компонент угловой скорости $\vec{\omega}$. А с другой стороны, необходимо найти моменты сил $\vec{m}_O(\vec{F}_k)$, действующих на Землю тел, в зависимости от их масс и расстояний до Земли. Это требует рассмотрения задачи о вращении Земли в разных системах координат (рис. 2).

В задаче о вращении Земли орбитальное движение тел Солнечной системы рассматривается в неускоренной эклиптической барицентрической системе координат x_{10}, y_{10}, z_{10} (рис. 2), связанной с застабилизированной на эпоху T_0 плоскостью орбиты Земли *1*. Ось x_{10} направлена на точку весеннего равноденствия. Начало *O* невращающейся системы $x_1y_1z_1$ находится в центре масс Земли, и она поступательно движется относительно системы $x_{10}y_{10}z_{10}$. Ось *z* вращающейся экваториальной системы *xyz*, связанная с вращающейся Землей, направлена вдоль вектора скорости $\vec{\varphi}$ собственного вращения Земли, а ось *x* в начальный момент $t = 0$ находится в плоскости нулевого меридиана, т.е. проходящего через г. Гринвич. Абсолютная угловая скорость $\vec{\omega}$ вращения Земли рассматривается с проекциями ω_x, ω_y, ω_z на оси вращающейся системы *xyz*: $\vec{\omega} = \vec{i}\,\omega_x + \vec{j}\,\omega_y + \vec{k}\,\omega_z$. С этими проекциями она используется в системе $x_1y_1z_1$.

Вращательное движение Земли рассматривается по отношению к невращающейся системе координат $x_1y_1z_1$ (рис. 2). Подвижная плоскость экватора Земли *2* определяется

углом наклона θ к плоскости *1* и углом прецессии $\psi = \gamma_0 K$. Кроме того рассматривается скорость собственного вращения Земли $\dot{\varphi}$ относительно ее подвижной оси *z*.

В теореме моментов (2) кинетический момент $\vec{K}_O$ создается всеми массами вращающейся Земли в системе координат $x_1y_1z_1$.

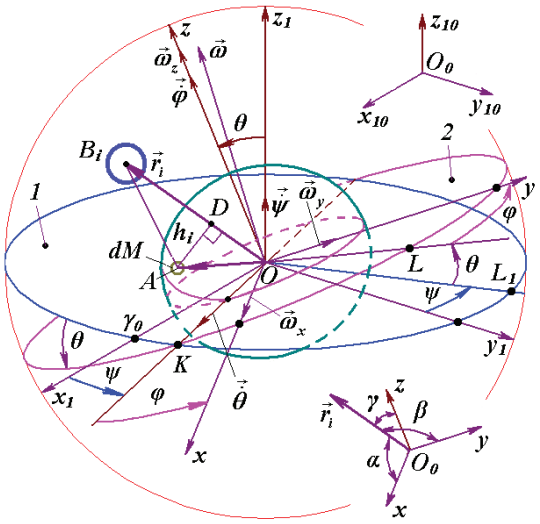


Рис. 2. *Системы координат и воздействие тела B_i на элемент Земли dM: $x_{10}y_{10}z_{10}$ – неподвижная барицентрическая эклиптическая; $x_1y_1z_1$ – невращающаяся эклиптическая и xyz – вращающаяся с Землей экваториальная – геоцентрические системы. Эйлеровые углы ψ, θ и φ положения системы xyz относительно $x_1y_1z_1$. 1 – неподвижная плоскость эклиптики; 2 – подвижная плоскость экватора Земли; r = OA – расстояние элемента массы dM от центра Земли.*

Так как в этой системе Земля вращается с угловой скоростью $\vec{\omega}$, то любой ее элемент *dM* с радиусом-вектором $\vec{r} = \vec{i}x + \vec{j}y + \vec{k}z$ (рис. 2) движется со скоростью $\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$ и относительно центра *O* имеет момент количества движения $\vec{m}_O(dM \cdot \vec{v}) = \vec{r} \times \vec{v} \cdot dM$. Здесь вектора $\vec{r}$, $\vec{v}$, $\vec{m}_O$ рассматриваются в проекциях на оси вращающейся системы координат. После интегрирования по всей массе Земли *M* кинетический момент будет: $\vec{K}_O = \int_M m_O(dM \cdot \vec{v}) = \int_M \vec{r} \times \vec{v} \cdot dM$. Продифференцировав $\vec{K}_O$ по времени и подставив векторы $\vec{r}$, $\vec{\omega}$ и $\vec{v}$, после преобразования получаем производные от проекций кинетического момента на оси вращающейся системы *xyz:*

$$\dot{K}_{Ox} = J_x\varepsilon_x - (J_y - J_z)\omega_y\omega_z, \quad \dot{K}_{Oy} = J_y\varepsilon_y - (J_z - J_x)\omega_z\omega_x, \quad \dot{K}_{Oz} = J_z\varepsilon_z, \qquad (3),$$

где J_x, J_y и J_z – моменты инерции Земли на оси вращающейся системы координат *xyz*;

ε_x, ε_y и ε_z – проекции углового ускорения.

Из наблюдаемой скорости прецессии можно определить только отношение между двумя моментами J_z и J_x, но не их абсолютные значения. В последние годы рассматриваются модели трехосной Земли, в которой третий момент инерции J_y оценивается по распределению потенциала силы тяжести на поверхности Земли. Однако этот метод также не позволяет определить точное значение моментов инерции. Здесь же отметим, что в случае трехосной Земли из-за несимметричности распределения потенциала необходимо вводить в уравнения слагаемые с центробежными моментами инерции J_{xy}, J_{xz},

J_{xy}. Традиционно в выводах слагаемые с этими моментами опускают, а слагаемые с третьим моментом J_y оставляют. Однако, в конечных выражениях J_y приравнивают J_x. Поэтому выражения (3) записаны для осесимметричной Земли: $J_y=J_x$, и $J_{xy}=J_{xz}=J_{yz}=0$. Для неосесимметричной Земли производные от кинетического момента даны в работе [26].

Подобно вычислению проекций кинетического момента (3) рассчитываются интегрированием по всем элементам Земли dM компоненты моментов сил $\vec{m}_O(\vec{F}_k)$ в теореме (2). Они также будут зависеть от моментов инерции Земли.

При выводе уравнений вращательного движения возникает проблема: при повороте тела в зависимости от системы координат изменяются или его моменты инерции или проекции угловой скорости. Поэтому вначале уравнения рассматривается в тех координатах, в которых моменты инерции J_x, J_y, J_z не изменяются. Затем происходит переход к Эйлеровым угловым координатам ψ, θ и φ, в которых угловые скорости не зависят от поворота тела. Ввиду сложности и громоздкости вывода уравнений вращения Земли [26], здесь рассмотрим только логическую схему вывода, представленную на блок-схеме на рис. 3.

Вначале производные кинетического момента выражаются во вращающейся системе координат xyz (действие *1*). Выше это действие было продемонстрировано и получены выражения (3). После представления угловой скорости в переменных Эйлера (действие *2*), получаем проекции производных кинетического момента в направлении Эйлеровых скоростей (действия *3* и *4*).

Для нахождения момента сил необходимо определить силовую функцию (действие *5*). Проектируя моменты сил на направления угловых скоростей Эйлера (действие *6*), согласно теореме моментов (2), и после подстановки в нее кинетического момента и силовой функции (действие *7* и *8*) получаем дифференциальные уравнения вращения Земли (действие *9*). Они имеют следующий вид:

$$\ddot{\psi} = -2\dot{\psi}\dot{\theta}\frac{\cos\theta}{\sin\theta} + \dot{\theta}\frac{J_z\omega_E}{J_x\sin\theta} - \sum_{i=1}^{n}\frac{3GM_iE_dJ_z}{r_i^5J_x}\Big\{0.5\sin(2\psi)(x_{1i}^{\ 2} - y_{1i}^{\ 2}) - \\ - x_{1i}y_{1i}\cdot\cos(2\psi) + z_{1i}\frac{\cos\theta}{\sin\theta}(x_{1i}\cos\psi + y_{1i}\sin\psi)\Big\}; \tag{4}$$

$$\ddot{\theta} = 0.5\dot{\psi}^2\sin(2\theta) - \frac{J_z\omega_E\dot{\psi}\sin\theta}{J_x} - \sum_{i=1}^{n}\frac{3GM_i\cdot E_dJ_z}{2r_i^5J_x}\Big\{\sin(2\theta)\Big[x_{1i}^{\ 2}\sin^2\psi + \\ + y_{1i}^{\ 2}\cos^2\psi - z_{1i}^{\ 2} - x_{1i}y_{1i}\sin(2\psi)\Big] + 2z_{1i}(x_{1i}\sin\psi - y_{1i}\cos\psi)\cos(2\theta)\Big\}, \tag{5}$$

$$\dot{\varphi} = \omega_E - \dot{\psi}\cdot\cos\theta, \tag{6},$$

где J_x, J_y и J_z – моменты инерции Земли относительно осей системы координат, связанной с вращающейся Землей;

$E_d = (J_z - J_x)/J_z$ - динамическая эллиптичность Земли;

ω_E = const – проекция абсолютной скорости вращения Земли на ее ось z (см. рис. 2);

n – количество действующих на Землю тел, а M_i – их масса, а x_{1i}, y_{1i}, z_{1i} – их координаты.

Следует отметить, что неизменность проекции угловой скорости $\vec{\omega}$ на ось z (рис. 3), т.е. $\omega_z = \omega_E$ = const, вызвано равенством нулю проекции момента сил m_{Oz}. А это обусловлено осесимметричностью Земли. С другой стороны, для неосесимметричной модели Земли, например, трехосной, или нежесткой, момент сил m_{Oz} не равен нулю.

Поэтому кроме двух дифференциальных уравнений второго порядка (4)-(5), будет еще одно для угла φ. Дополнительно, в выражения для кинетического момента $\vec{K}_O$ и момента сил $\vec{m}_O(\vec{F}_k)$ в теореме (2) войдут центробежные моменты инерции J_{xy}, J_{xz} и J_{yz}. В моделях с изменяющейся Землей изменяться будут центробежные моменты.

Поэтому при вычислении кинетического момента согласно (3) в это выражение войдут производные от центробежных моментов J_{xy}, J_{xz} и J_{yz}. Последнее обстоятельство во всех теориях с неосесимметричной моделью Земли не учитывают. Их авторы, предполагая, что выбранные ими оси *x, y, z* являются главными осями инерции, центробежные моменты инерции приравнивают нулю. Как известно из теоретической механики, это возможно только в одном случае, если оси *x, y, z* являются осями симметрии для тела. Поэтому в решения моделей неосесимметричной Земли заложена ошибка на уровне дифференциальных уравнений. Полученные в таких теориях вращения Земли отличия от решений в осесимметричной Земли в первую очередь обусловлены этой ошибкой.

Уравнениями (4) - (5) определяются углы наклона θ и прецессии ψ подвижного экватора *1* относительно неподвижной плоскости орбиты *2* (рис. 2). Из анализа уравнений (4) и (5) следует [26], что в установившемся режиме вторые производные $\ddot{\psi}$ и $\ddot{\theta}$ в уравнениях малы по сравнению с другими слагаемыми, т.е. $\ddot{\psi} \approx \ddot{\theta} \approx 0$. Так как ω_E на 6 порядков превышает производные $\dot{\psi}$ и $\dot{\theta}$, то, пренебрегая слагаемыми с $\dot{\psi}\cdot\dot{\theta}$ и $\dot{\psi}^2$ в уравнениях (4)-(5), получаем:

$$\dot{\theta} \approx -\sum_{i=1}^{n} \frac{3GM_i E_d \sin\theta}{2\omega_E r_i^5}[\sin(2\psi)(x_{1i}^2 - y_{1i}^2) - 2x_{1i}y_{1i}\cos(2\psi) + 2z_{1i}\frac{\cos\theta}{\sin\theta}(x_{1i}\cos\psi + y_{1i}\sin\psi)]; \tag{7}$$

$$\dot{\psi} \approx -\sum_{i=1}^{n} \frac{3GM_i E_d}{2\omega_E r_i^5 \sin\theta}\{\sin(2\theta)[x_{1i}^2\sin^2\psi + y_{1i}^2\cos^2\psi - z_{1i}^2 - x_{1i}y_{1i}\sin(2\psi)] + \\ + 2z_{1i}(x_{1i}\sin\psi - y_{1i}\cos\psi)\cdot\cos(2\theta)\}. \tag{8}$$

Уравнения (7)-(8) идентичны уравнениям Пуассона. В результате их приближенных аналитических решений, получены результаты в прежней теории эволюции вращательного движения Земли.

4. КОНСТАНТЫ УРАВНЕНИЙ И НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

4.1. Угловая скорость вращения Земли. Отличие геоида от сферы, влияющее на эволюцию вращательного движения Земли, характеризуют ее динамической эллиптичностью $E_d=(J_z-J_x)/J_z$. В уравнениях (4) - (5) отношение моментов инерции J_z/J_x может быть выражено через динамическую эллиптичность так: $J_z/J_x = 1/(1 - E_d)$. Поэтому уравнения зависят от двух констант: проекции на ось *z* абсолютной скорости ее вращения ω_E и динамической эллиптичности Земли E_d. Угловая скорость вращения Земли ω_E представляет ее среднее значение за большой интервал времени. Ее можно определить по сидрическому периоду обращения Земли вокруг Солнца P_{orsd} = 365.25636042 дней. За время P_{orsd} точка земной поверхности относительно неподвижных звезд поворачивается на угол $\varphi_{Psd} = 2\cdot\pi\cdot P_{orsd} + 2\cdot\pi$, где

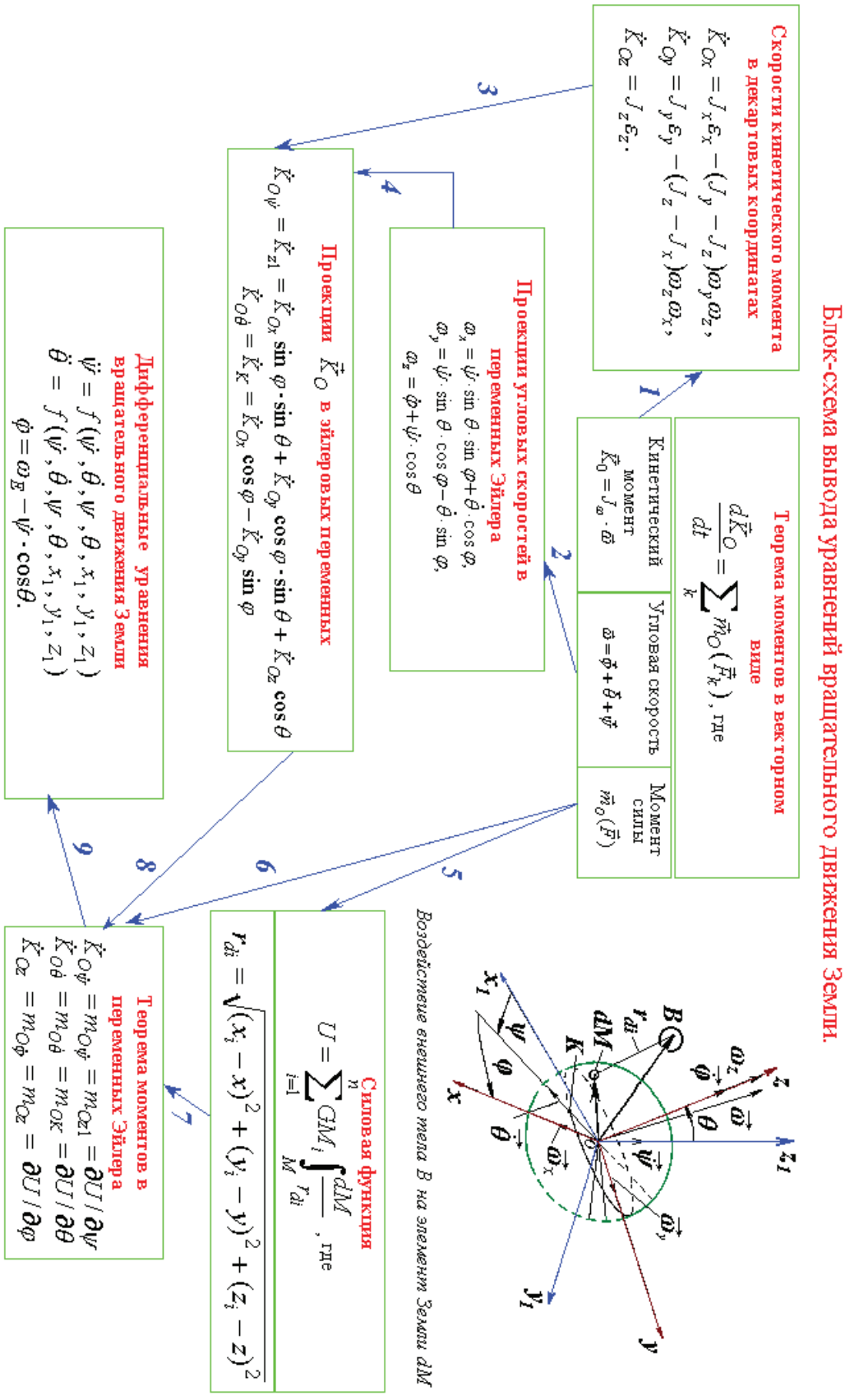


Рис. 3. *Блок-схема вывода дифференциальных уравнений вращения Земли. Цифрами на стрелках показана очередность вывода (действия)*

последнее слагаемое $2\cdot\pi$, обусловлено годовым обращением Земли вокруг Солнца. Тогда угловая скорость вращения Земли будет:

$$\omega_E = \varphi_{Psd}/P_{orsd} = 2\cdot\pi\cdot(1 + 1/P_{orsd})\cdot 24\cdot 3600 = 7.292115082711576\cdot 10^{-5}\ 1/\text{сек}. \qquad (9)$$

Это значение совпадает со значением в [16], которое приведено с 7 знаками. В источниках с большим числом значащих цифр [15, 24] значение (9) совпадает до 8 знака.

4.2. Динамическая эллиптичность Земли. Знания о распределении плотности Земли в настоящее время недостаточны, чтобы можно было рассчитать моменты инерции J_z и J_x с необходимой точностью. Поэтому динамическую эллиптичность Земли E_d определяют сравнением рассчитанной скорости прецессии $\dot{\psi}$ с наблюдаемой величиной, например, с прецессией оси Земли относительно неподвижной эклиптики [15, 23] за тропический год T_{tr}

$$p_1 = 50''.37084 + 0''.00493T_{tr}. \qquad (10)$$

В результате многократных вычислений разными авторами теорий вращения Земли динамическую эллиптичность Земли E_d уточнялась и в последних работах существенно не изменяется. Нами также проводились исследования по значению E_d [26] и мы пришли к выводу, что значение $E_d = 3.2737671\cdot 10^{-3}$ является приемлемым в настоящее время. Это значение использовал ряд авторов, в том числе [20].

4.3. Начальные условия. При интегрировании уравнений (4) - (5) в начальный момент времени необходимо задавать начальные значения углов ψ и θ, и начальные скорости $\dot{\psi}$ и $\dot{\theta}$. Параметры вращательного движения Земли и орбитальных движений воздействующих тел задаются в системе неподвижной эклиптики на эпоху 2000.0 г. с юлианским днем JD_s = 2451545, а начало решения берется в сдвинутый на 0.5 столетия момент $T = 0$ с датой 30.12.1949 г. и юлианским днем JD_0 = 2433280.5.

Задание начальных условий представляет значительную проблему. Интегрирование уравнений (4) - (5) с воздействием одного тела [14, 26] показало, что переменные ψ, θ, $\dot{\psi}$ и $\dot{\theta}$ колеблются с периодами суток, полумесяца, полугода и 18.6 лет. В астрономии приводятся осредненные изменения параметров, в которых эти колебания отсутствуют. Поэтому начальные условия (НУ) определяются в несколько стадий. Первоначально начальные условия рассчитываются на основании осредненных астрономических элементов, отражающих орбитальное и вращательное движения Земли. Основные геометрические характеристики этих движений представлены на рис. 4. В отличие от рис. 2 здесь приняты другие обозначения для декартовых координат: xyz и $x_ey_ez_e$ – неподвижные экваториальная и эклиптическая системы, соответственно. Они связаны с плоскости экватора A_0A_0' и эклиптики E_0E_0', соответственно, в эпоху JD_s. В любую другую эпоху JD плоскости экватора AA' и эклиптики EE' находятся в других положениях.

В 20-м веке использовалась система осредненных астрономических элементов, созданная в конце 19-го века С. Ньюкомбом [23]. В конце 20$^{\text{ого}}$ века такую систему также создали Дж. Симон и др [25]. В Приложении 1 по каждой из этих систем приведен алгоритм определения начальных условий на эпоху JD_0, а также их значения.

С этими начальными условиями интегрируются уравнения (4) - (5) за небольшой интервал времени, например за 0.1 года. На этом интервале проявляются суточные и полумесячные периоды колебаний. Амплитуды суточных колебаний имеют определенную

величину. Из уравнений видно, что вторые производные в левой части уравнений зависят от первых производных в правой части.

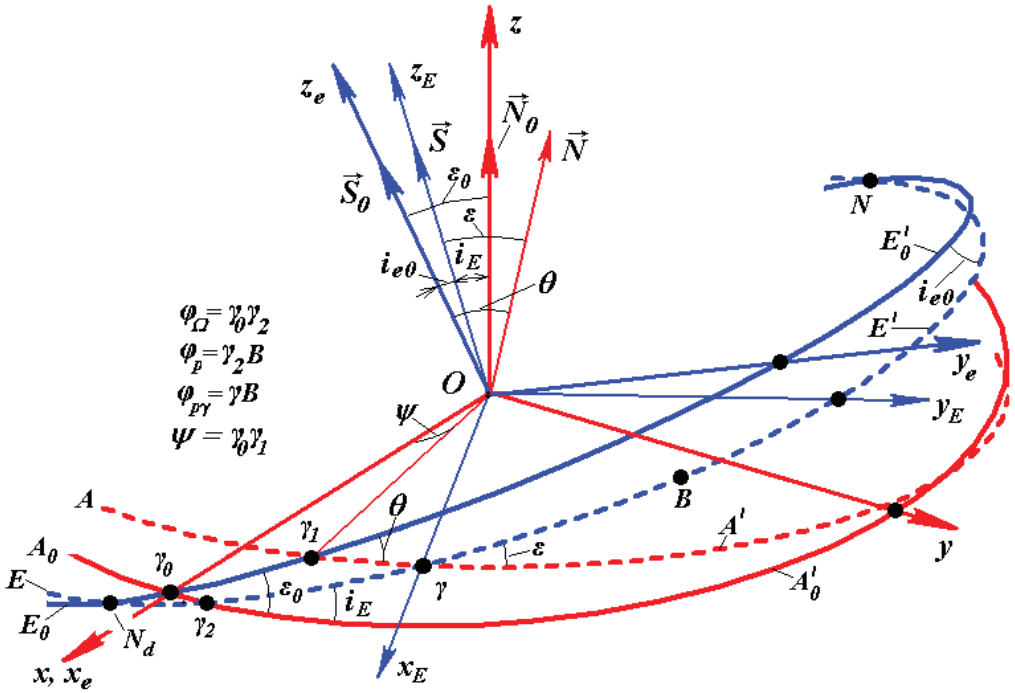


Рис. 4. *Экваториальная xyz и эклиптическая $x_e y_e z_e$ системы координат: $A_0A'_0$ и $E_0E'_0$ – плоскости на небесной сфере неподвижных экватора и эклиптики в эпоху JD_S. AA' и EE' – подвижные плоскости экватора и эклиптики в произвольную эпоху JD; $\vec{S}_0$ и $\vec{S}$ – единичные перпендикуляры к плоскостям $E_0E'_0$ и EE', соответственно; $\vec{N}_0$ и $\vec{N}$ – единичные перпендикуляры к плоскостям $A_0A'_0$ и AA', соответственно. Углы перемещения плоскости экватора по неподвижной эклиптике: θ и $\psi = \gamma_0\gamma_1$. Вращение плоскостей с целью вывода зависимостей показано против часовой стрелки при изменении времени от прошлого в будущее.*

Поэтому, в случае, когда начальные значения $\dot{\theta}_0$ и $\dot{\psi}_0$ не соответствуют реальным условиям взаимодействий, вторые производные будут большими, что приведет к большим амплитудам суточных колебаний. Полагается, что в течение предшествующей эволюции вращательного движения Земли установились такие условия взаимодействия, при которых суточные амплитуды являются минимальными. Поэтому проводя последовательное интегрирование на выбранном интервале времени производится уточнение значений $\dot{\theta}_0$ и $\dot{\psi}_0$ из условия стремления суточных амплитуд углов ψ, θ, или суточных амплитуд их производных $\dot{\psi}$ и $\dot{\theta}$ к нулю. Таким образом, за 9 итераций величина $\dot{\theta}_0$ была уточнена по 3-й знак, а $\dot{\psi}_0$ – по 4-й знак. При этом амплитуды колебаний углов и производных уменьшились на два-три порядка.

На третьей стадии уточняются углы ψ_0 и θ_0. Как уже отмечалось, на первой стадии определялись углы ψ_0 и θ_0 по астрономическим элементам, которые не содержат вышеупомянутых коротких колебаний, но содержат линейный тренд по времени, отражающий долгопериодические колебания. В полученных решениях также имеется этот

тренд, но идет он с начальной точки θ_0. В действительности, тренд осредненных данных наблюдения должен идти по средней линии колебаний. Поэтому значение угла θ_0 уточняется по совпадению рассчитанных и наблюдаемых начал трендов угла ε между подвижными плоскостями экватора и орбиты. С этой целью уравнения (4) - (5) интегрировались на интервале 100 лет.

Угол прецессии ψ_0 уточнялся другим образом. В используемой системе отсчета на эпоху JD_S отсчет углов, в том числе угла прецессии ψ, производится от восходящего узла γ_0, т.е. в момент JD_S угол ψ должен быть равен нулю. По этому условию было уточнено значение ψ_0 на начало интегрирования JD_0. Такое уточнение имеет недостаток в том, что фаза рассчитанных короткопериодических колебаний может отличаться от фазы наблюдаемых колебаний. В данных исследованиях по эволюции вращательного движения Земли за миллионы лет это не имеет значение, поэтому мы ограничились этими тремя стадиями определения начальных условий. Они приведены в табл. 1.

Таблица 1. *Уточненные начальные условия на эпоху JD_0 в системе неподвижной эклиптики на эпоху 2000.0 г.: углы – в радианах, угловые скорости – в рад/столетие.*

ψ	θ	$\dot{\psi}$	$\dot{\theta}$
0.012255883726341	0.409046452218535	$-2.545885550373\cdot10^{-2}$	$-4.6315231174\cdot10^{-3}$

Первоначально уравнения (4) - (5) с неуточненными начальными условиями интегрировались за разные интервалы времени, включая ±200 тыс. лет. Долгопериодические изменения этих решений такие же, как и при уточненных НУ. Однако в первоначальной программе интегрирования DfEqAl1.for суточные амплитуды увеличивались со временем. Для решения задачи за миллионы лет было введено второе уточнение. Третье уточнение потребовалось при сравнении результатов решений за 100 лет с данными наблюдений.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТЕГРИРОВАНИЯ УРАВНЕНИЙ (4) – (5)

На рис. 5 представлены результаты численного интегрирования уравнений (4) – (5) на шести интервалах времени I от 0.1 года до 10 тыс. лет. Учитывается воздействие планет, Луны и Солнца на вращение Земли. На графиках буквой I указан интервал времени в годах, а буквами θ_{ai} и ψ_{ai} – амплитуды колебаний с номером i. На интервале 0.1 года угол прецессии ψ, начиная с начального значения, ψ_0 уменьшается, совершая суточные колебания с периодом P_1 = 0.99727 дня и амплитудой $\psi_{a1} = 7.28\cdot10^{-10}$ рад. = 0.15 mas, где 1 mas = 10^{-3} угловых секунд. Эти колебания едва заметны на графике. Более заметны два периода полумесячных колебаний.

Угол наклона θ на рис. 5 представлен в виде разности $\Delta\theta = \theta - \theta_0$. На интервале 0.1 года суточные колебания видны более отчетливо. Их амплитуда $\theta_{a1} = 3.01\cdot10^{-10}$ рад = 0.062 mas. Здесь также более выразительно проявляются полумесячные колебания. Следует отметить, что эти графики с целью представления суточных колебаний построены по начальным условиям, при которых их амплитуда увеличена на два порядка.

На интервале 1 год угол ψ продолжает уменьшаться с полумесячными колебаниями периодом P_2 = 13.66 дня и амплитудой $\psi_{a2} = 9.37\cdot10^{-7}$ рад. = 193 mas. Кроме того, на

графике видны два периода полугодовых колебаний угла ψ. Аналогично, на графике $\Delta\theta$ видны полумесячные колебания со средней амплитудой $\theta_{a2} = 3.93\cdot10^{-7}$ рад = 81.0 mas, а также два периода полугодовых колебаний.

На интервале 10 лет продолжается уменьшение угла ψ. На этом интервале имеется 20 периодов полугодовых колебаний с периодом $P_3 = 182.6282$ дня. Их средняя амплитуда $\psi_{a3} = 6.64\cdot10^{-6}$ рад. = 1.37″. Характер изменения ψ отличается от линейного, потому что начинается формирование колебаний с большим периодом. В изменении угла θ на графике $\Delta\theta$ также видно формирование колебания с большим периодом. А средняя амплитуда полугодовых колебаний $\theta_{a3} = 2.67\cdot10^{-6}$ рад = 551 mas.

На графиках полумесячных и полугодовых колебаний видно, что амплитуды соседних колебаний отличаются. Амплитуда больше в том колебании, во время которого Луна находится в перигее – для полумесячных, и Земля находится в перигелии – для полугодовых. Очередность больших и меньших амплитуд и их разница во времени изменяется. Это обусловлено движениями перигея и перигелия.

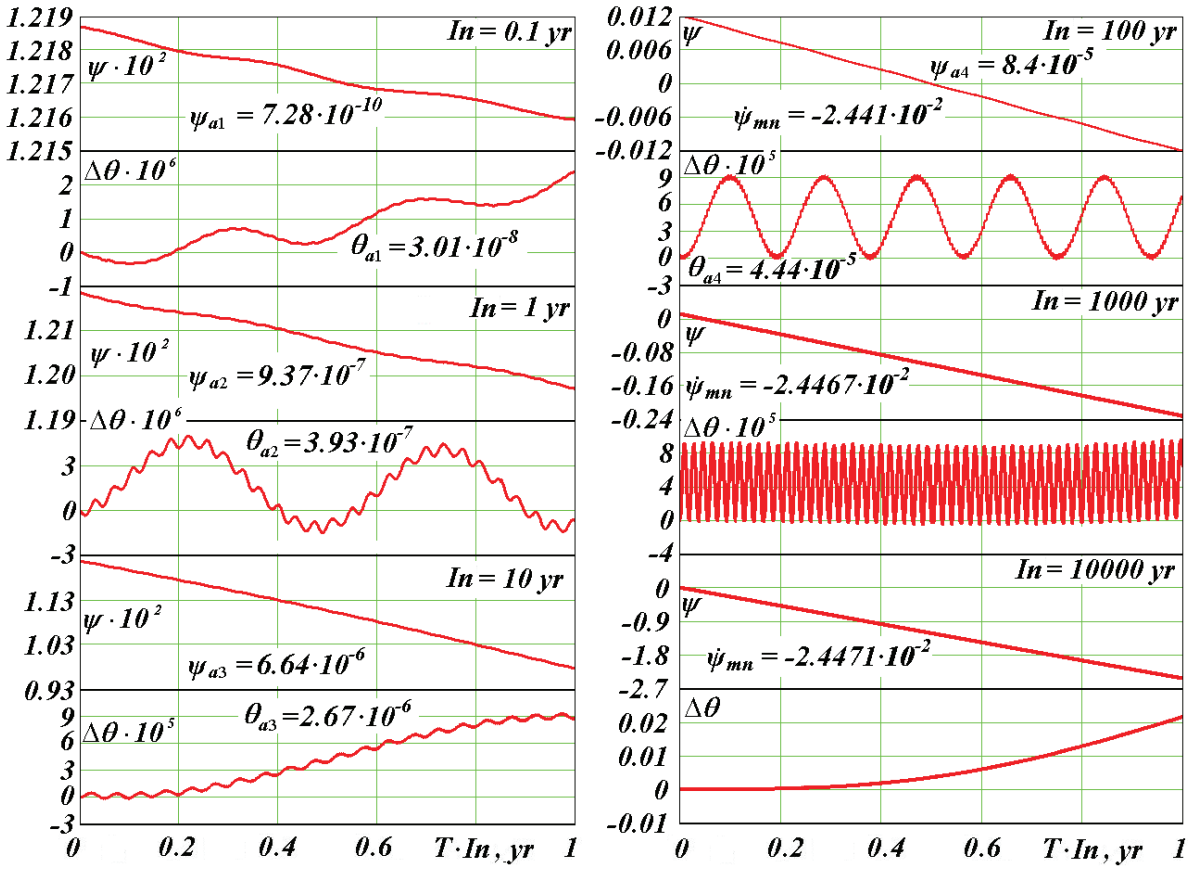


Рис. 5. *Динамика углов прецессии ψ и наклона θ (в радианах) оси вращения Земли на 6 интервалах In времени в годах (yr). $\Delta\theta = \theta - \theta_0$, где θ_0 – угол наклона оси при T = 0. Периоды колебаний: P_1 = 1 день; P_2 = 0.5 месяца; P_3 = 0.5 года; P_4 = 18.6 лет. $\dot{\psi}_{mn}$ – средняя на интервале In скорость прецессии (радиан/столетие).*

На интервале 100 лет средняя амплитуда колебаний угла прецессии $\psi_{a4} = 8.4\cdot10^{-5}$ рад. = 17.4", а средняя скорость прецессии $\dot{\psi}_m = -2.441\cdot10^2$ рад/ст. Период этих колебаний

P_4 = 18.6 лет обусловлен прецессией орбиты Луны. Амплитуда колебаний угла θ с этим периодом θ_{a4} = $4.44 \cdot 10^{-5}$ рад. = 9.2".

На интервалах 1000 лет и 10 тыс. лет продолжаются колебания с периодом P_4 = 18.6 лет. Средняя скорость прецессии на интервалах равна $-2.438 \cdot 10^{-2}$ и $2.425 \cdot 10^{-2}$ рад/ст, соответственно. На графике $\Delta\theta$ за 10 тыс. лет видно начало нового колебания с периодом больше 10 тыс. лет.

Итак, на исследованном интервале времени 10 тыс. лет проявляются колебания углов ψ и θ с суточными, полумесячными, полугодовыми периодами и периодом 18.6 года. Амплитуды колебаний увеличиваются с увеличением периодов. При этом амплитуда колебаний угла ψ в 2-3 раза больше амплитуды колебаний угла θ. Ранее, наличие этих периодов физически обосновано на основе теоремы моментов (2). Амплитуды периодов согласуются с амплитудами в работах других исследователей, например [19] . Амплитуда θ_{a4} = 9.2" периода 18.6 лет доступна для измерения. Она зафиксирована в астрономии и называется постоянной нутации [15]. Из-за наличия колебаний средняя скорость прецессии $\dot{\psi}_m$ изменяется с изменением периода осреднения. На интервале 100 лет ее величина $\dot{\psi}_m$ = $-2.441 \cdot 10^{-2}$ рад/ст также совпадает с наблюдаемой величиной согласно [23] равной $-2.442 \cdot 10^{-2}$ рад/ст. и [25] – $-2.439 \cdot 10^{-2}$·рад/ст. (см. табл. 1п в Приложении).

Как отмечалось ранее, в прежней Астрономической теории изменения климата использовались решения уравнений Пуассона, которые идентичны уравнениям (7)-(8). Последние являются упрощением дифференциальных уравнений вращения Земли (4)-(5) за счет пренебрежения вторых производных и произведений первых производных. Поэтому в этих решениях колебаний с периодами P_1 - P_4 не получают. Это обстоятельство ставит под сомнение и долгие периоды в прежней Астрономической теории изменения климата.

На рис. 5 рассматривались результаты решения задачи (4)-(5) при изменении времени в будущее. На рис. 6 они представлены за 1 миллион лет назад (м.л.н.). Угол прецессии ψ колебательно возрастает в прошлое со средней за 1 млн. лет скоростью $\dot{\psi}_m$ = -0.024417015 рад/ст.

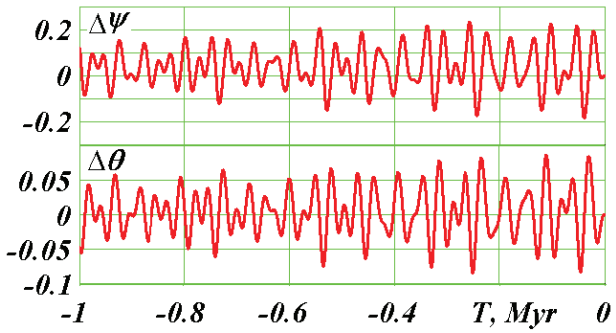


Рис. 6. *Эволюция вращательного движения Земли за 1 м.л.н. Разности углов прецессии $\Delta\psi$ и наклона $\Delta\theta = \theta - \theta_0$ даны в радианах.*

Знак "-" означает, что ось вращения Земли $\vec{N}$ (рис. 4) относительно оси $\vec{S}_0$ прецессирует за часовой стрелкой. Средний период этой прецессии или вращения $P_{pr} = 2\pi/\dot{\psi}_m$ = -25738 лет. Поэтому осредненное изменение угла прецессии происходит по линейному закону

$$\psi_a = \psi_0 + \dot{\psi}_m \cdot T. \qquad (11)$$

В дальнейшем будем упоминать это округленное значение периода прецесси P_{pr} = -25.74 тыс. лет.

На рис. 6 показана эволюция разности угла прецессии $\Delta\psi = \psi - \psi_a$. За 1 млн. лет колебания $\Delta\psi$ происходят в диапазоне от -0.184 до 0.233 рад., т.е. размах колебаний равен 0.417 радиан. Величина $\Delta\theta$ колеблется подобно $\Delta\psi$, но в меньшем диапазоне: от -0.0845 до 0.0855 рад., т.е. размах колебаний равен 0.17 радиан. Таким образом, максимальная амплитуда колебаний угла θ в 2.45 раз меньше максимальной амплитуды колебаний угла ψ. Кроме того, колебания $\Delta\theta$ не совпадают по фазе с колебаниями $\Delta\psi$, они сдвинуты по оси времени T на -7.5 тыс. лет.

Как было показано на рис. 5, продолжительность долгих периодов колебаний превышает 10 тыс. лет. Вклад Луны в колебания оси Земли завершился периодом 18.6 лет. Вклад планет, как показано в работах [14, 26], имеет малую величину по сравнению с вкладом Луны и Солнца. Поэтому периоды колебаний углов ψ и θ на интервале 1 млн. лет обусловлены: 1) прецессией самой оси Земли с периодом 25.7 тыс. лет, 2) периодом прецессии орбиты Земли относительно подвижного экватора, 3) периодами изменения эксцентриситета орбиты Земли и 4) периодом вращения ее перигелия относительно подвижного экватора. Влияние этих четырех факторов приводит к нерегулярному характеру колебаний ψ и θ на рис. 6. Одним из ведущих периодов колебаний на этих графиках является период 25.74 тыс. лет, обусловленный прецессией оси Земли.

6. ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ЗЕМЛИ ОТНОСИТЕЛЬНО ПОДВИЖНОЙ ОРБИТЫ ЗЕМЛИ

Эволюция вращательного движения Земли представляет интерес по отношению к эволюции ее орбитального движения. Например, освещенность Земли Солнцем зависит от этого отношения. В результате интегрирования уравнений (4)-(5) получены угол прецессии ψ и угол наклона θ плоскости экватора AA' (рис. 4) относительно неподвижной плоскости орбиты или эклиптики E_0E_0'. Подвижная плоскость орбиты EE' координируется углами наклона i_E и положения восходящего узла φ_Ω относительно неподвижной плоскости экватора A_0A_0'. Проекция перигелия орбиты Земли на небесной сфере обозначена буквой B, а его положение относительно неподвижного экватора A_0A_0' определено углом $\varphi_p = \gamma_2 B$. Эволюция углов i_E, φ_Ω и φ_p определена в результате решения орбитальной задачи за 100 млн. лет [4, 30]. Необходимо определить эволюцию угла наклона ε между подвижными плоскостями экватора Земли AA' и орбиты EE', а также эволюцию угла перигелия $\varphi_{p\gamma}$, отсчитываемого от подвижного узла γ.

При рассмотрении этой проблемы за большие интервалы времени возникают множественные неоднозначные ситуации. Поэтому переход от неподвижных координат к подвижным был выполнен двумя способами: в сферических и декартовых координатах. В сферических координатах рассматривались углы между вышеупомянутыми плоскостями.

А в декартовых координатах рассматривались углы между осями плоскостей экватора $\vec{N}$ и орбиты $\vec{S}$. На рис. 4 они показаны в момент T, а в момент T_0 соответственно обозначены: $\vec{N}_0$ и $\vec{S}_0$. Эти оси являются единичными векторами, перпендикулярными к соответствующим плоскостям. Вывод выражений для ε и φ_{py} представлен в Приложении 2.

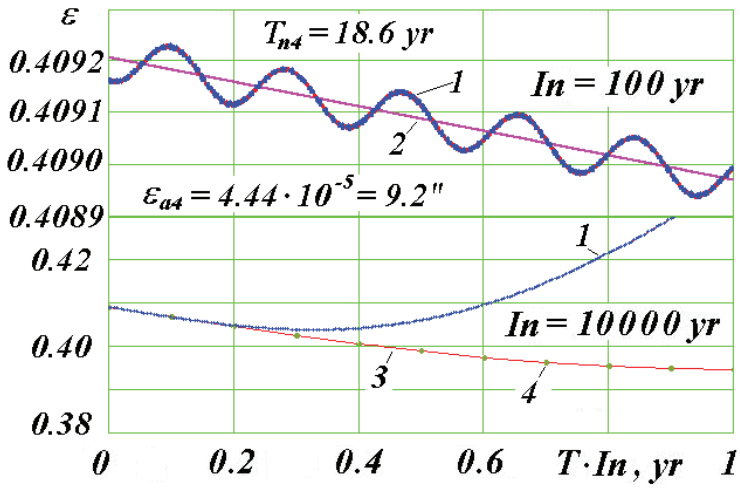


Рис. 7. *Динамика угла наклона ε (в радианах) плоскости экватора Земли к плоскости ее орбиты на двух интервалах In времени: yr – год; T_{n4} и ε_{a4} – период и амплитуда колебаний угла наклона ε; 1 – по нашим результатам численного интегрирования; 2 – аппроксимация данных наблюдений по [15, 23]; 3 – по результатам интегрирования Laskar et al. [21]; 4 – по результатам интегрирования Ш. Г. Шараф и Н. А. Будниковой [18].*

На рис. 7 показано изменения угла наклона ε между подвижными плоскостями экватора и орбиты Земли на двух интервалах времени *In* за 100 лет и 10 тыс. лет. Колебания угла наклона ε на меньших интервалах времени идентично колебаниям угла θ на рис. 5.

На интервале *In* = 100 лет видно, что рассчитанный *1* угол наклона ε колеблется вокруг наблюдаемого среднего угла наклона *2* согласно работам [15, 23]. Амплитуда колебаний $\varepsilon_{a4} = 9.2''$ периода $T_{n4} = 18.6$ лет, как уже отмечалось, также совпадает с наблюдениями. Рассчитанный угол прецессии ψ также колеблется относительно осредненного угла прецессии по наблюдениям, а средняя динамика ψ также совпадает с наблюдениями.

Как видно из рис. 7, на интервале *In* = 10 тыс. лет такое совпадение с аппроксимацией данных наблюдения и результатами решений других авторов [18, 21] имеется до 2000 лет. Далее рассчитанный нами угол наклона ε начинает отличаться от результатов их решений.

На рис. 8 на интервале 200 тыс. лет показано, что со временем отличия нарастают, и дальнейшая эволюция рассчитанного нами угла наклона ε значительно отличается от эволюции, полученной другими авторами, которые решали упрощенную задачу (7) – (8) о вращении Земли. Как видно из графиков, колебания угла ε по нашим решениям происходят в диапазоне от 16.7º до 31º, в то время как по прежним решениям от 22.26º до 24.32º, т. е. диапазон колебаний больше в 7 раз.

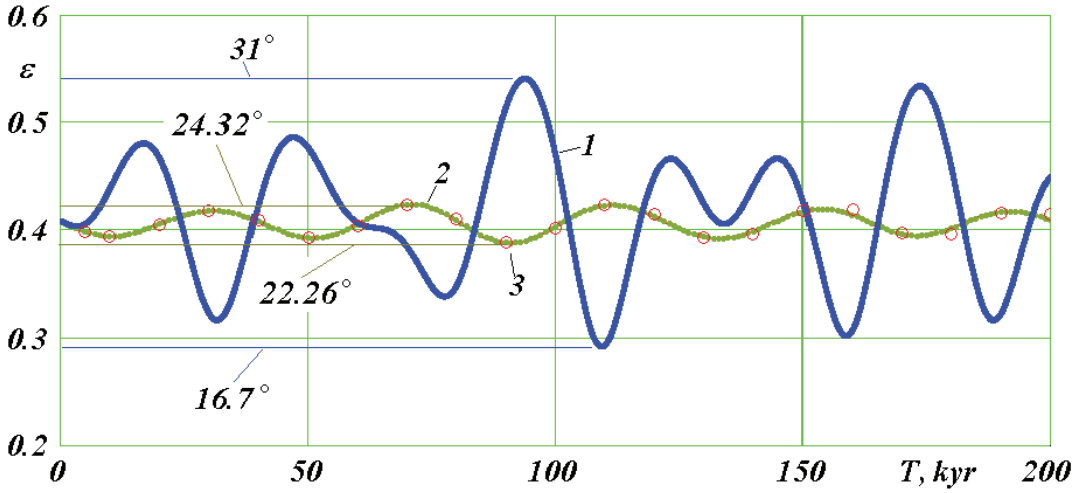


Рис. 8. *Эволюция угла наклона ε (в радианах) плоскости экватора Земли к плоскости ее орбиты на интервале 200 тыс. лет: 1 – по нашим результатам численного интегрирования; 2 – по результатам интегрирования Laskar et al. [21]; 3 – по результатам интегрирования Ш.Г. Шараф и Н.А. Будниковой [18]. В градусах приведены максимальные и минимальные значения угла ε.*

7. ЭВОЛЮЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ЗЕМЛИ ЗА МИЛЛИОНЫ ЛЕТ

7.1. Эволюция углов наклона и перигелия за 5 м.л.н. На рис. 9 приведена эволюция углов ε и $\varphi_{p\gamma}$ за 5 м.л.н. Колебания угла наклона ε происходят нерегулярно и с разными амплитудами. Основной период колебания, средний за 5 млн. лет, $T_{\varepsilon m} = 25.73$ тыс. лет. Он равен периоду прецессии оси Земли. Период колебаний в конкретную эпоху может отличаться от среднего периода на тысячу лет. Могут быть и более существенные отличия. Например, в эпоху 4.6 м.л.н. один минимум ε вырождается, и за три интервала $T_{\varepsilon m}$ происходит два колебания, т.е. период колебаний становится равный 38.6 тыс. лет. Амплитуда колебаний переменная и изменяется от нулевой до максимальной, равной 9°. В среднем амплитуда равна 2.74°, а среднее значение угла наклона ε равно 23.8° при современном его значении – 23.44°.

На интервале 5 млн. лет нет повторяющихся участков изменения угла наклона ε. Распределение больших амплитуд колебаний также нерегулярно. Имеются два участка с очень большими амплитудами: 0 ÷ 0.25 м.л.н. и 2.2 ÷2.8 м.л.н. Имеются участки с очень малыми амплитудами колебаний, например, в эпохи $T \approx 3.3$ м.л.н. и $T \approx 4.2$ м.л.н. Самые большие значения ε приведены на рис. 9 в градусах: 32.68° в эпоху $T = 2.6582$ м.л.н. и 14.68° в эпоху $T = 0.2508$ м.л.н. Таким образом, наибольшая амплитуда колебаний оси Земли за 5 м.л.н. составляет $\varepsilon_{amx} = 9°$.

Как видно из рис. 9, угол перигелия $\varphi_{p\gamma}$ изменяется от 1.776 радиан в эпоху 30.12.1949 г. до -1445.7 радиан в эпоху 5 м.л.н. Это изменение свидетельствует о вращении перигелия против часовой стрелки при изменении времени в будущее, т.е. в направлении орбитального движения Земли. На рис. 9 приведены также текущие периоды $T_{p\gamma t}$ вращения на интервалах в 20 тыс. лет. Как видно, периоды вращения неравномерные, они изменяются от 13.8 до 41.8 тыс. лет. В среднем эти изменения происходят в пределах от 19

до 25 тыс. лет. А средний за 5 млн. лет период вращения перигелия $T_{p\gamma m}$ = 21.7 тыс. лет. Следует напомнить, что это период вращения перигелия относительно подвижной линии пересечения плоскостей экватора и орбиты Земли. Средний период вращения перигелия за 5 м.л.н. относительно неподвижного пространства T_p = 138.5 тыс. лет.

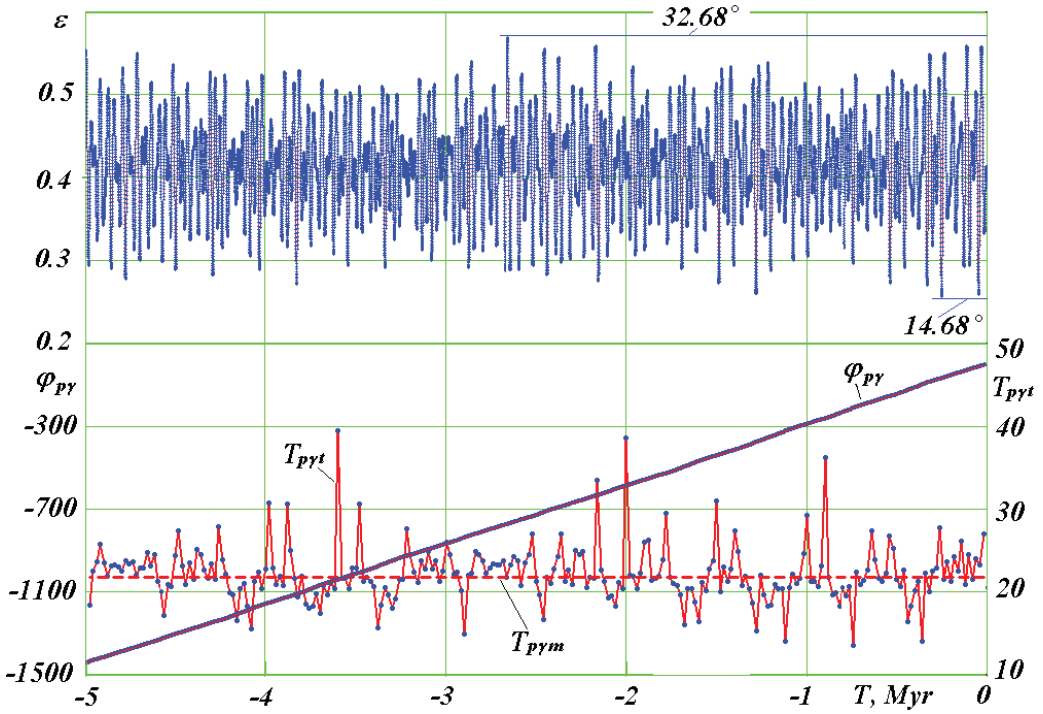


Рис. 9. *Эволюция угла наклона ε и угла положения перигелия $\varphi_{p\gamma}$, за 5 м.л.н.: $T_{p\gamma t}$ – текущий период вращения перигелия за 20-тыс. интервалы времени, в тысячелетиях; $T_{p\gamma m}$ = 21.7 тыс. лет – средний период вращения перигелия.*

7.2. Эволюция угла наклона за 20 м.л.н. На рис.10 линией *1* представлена эволюция угла наклона ε за 20 м.л.н. в виде десяти 2-х миллионных интервалов времени. Левый предел каждого интервала времени обозначен как T_l, который для верхнего графика за 2 м.л.н. записан в виде T_l = -2. Поэтому внизу шкала оси времени T начинается с T_l. Линией 2 на графиках, для сравнения, на примере работы [21] приведено изменение угла наклона ε по прежней теории эволюции оси Земли.

Чтобы выполнить статистический анализ этих результатов, введены градации угла ε. Весь диапазон колебаний от ε_{max} до ε_{min} разбит на 6 уровней с интервалом

$$\Delta\varepsilon = (\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min})/6. \qquad (12)$$

Среднее значение колебаний ε равно

$$\varepsilon_{mo} = 0.5\ (\varepsilon_{max} + \varepsilon_{min}). \qquad (13)$$

А границы первого и второго уровня больших углов наклона будут

$$\varepsilon_{t1} = \varepsilon_{mo} + \Delta\varepsilon; \quad \varepsilon_{t2} = \varepsilon_{mo} + 2\cdot\Delta\varepsilon. \qquad (14)$$

Границы первого и второго уровня малых углов наклона запишутся

$$\varepsilon_{c1} = \varepsilon_{mo} - \Delta\varepsilon; \quad \varepsilon_{c2} = \varepsilon_{mo} - 2\cdot\Delta\varepsilon. \qquad (15)$$

Большие значения для угла наклона ε соответствуют потеплениям на широтах φ > 45º, а малые – похолоданиям [12, 13, 29]. Согласно этим соответствиям введены индексы границ: *t* – теплый, *c* – холодный.

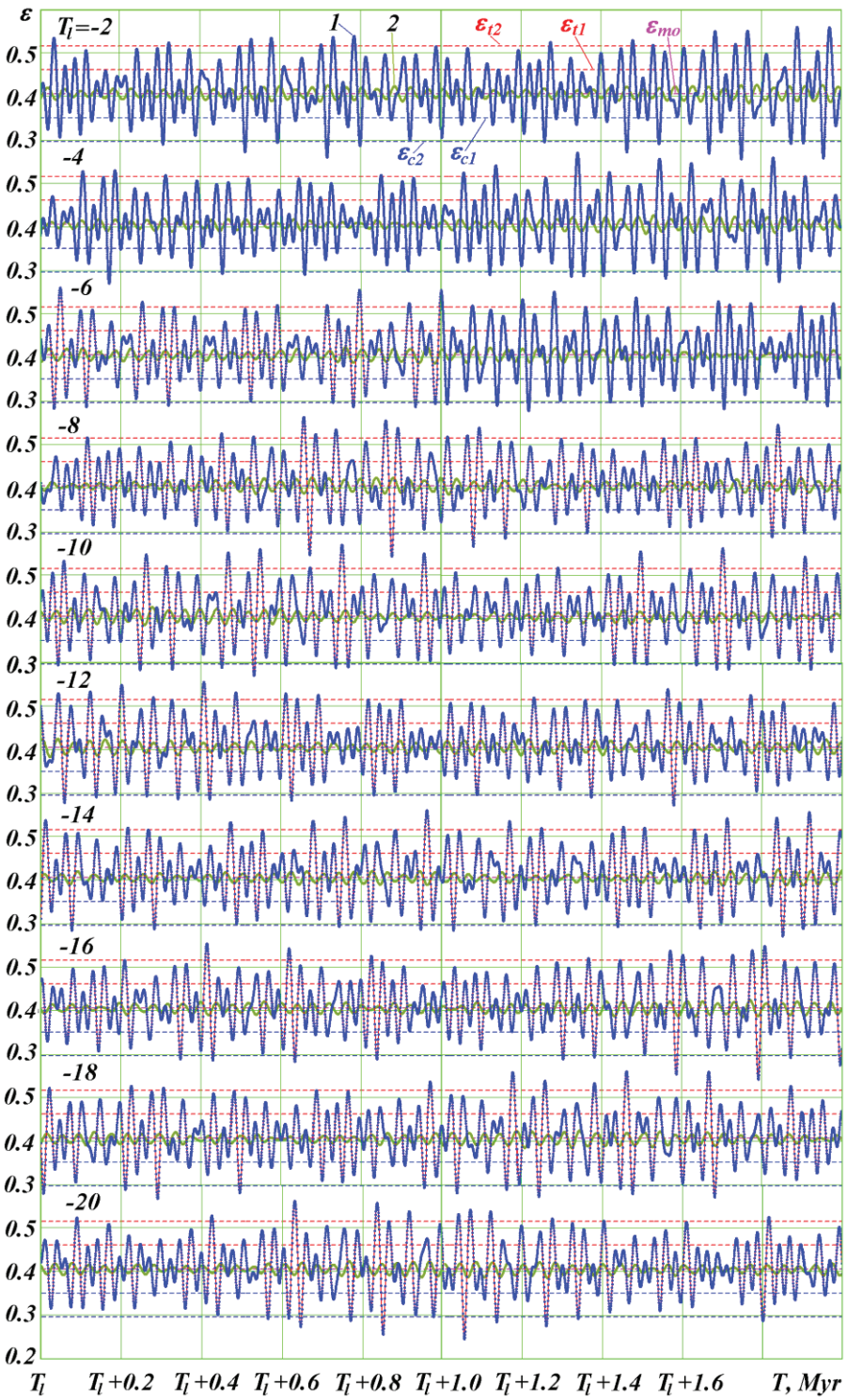


Рис. 10. *Эволюция угла наклона ε за 20 м.л.н. в виде 10 графиков по 2 миллиона лет: линией 1 по нашим решениям и линией 2 по прежним решениям на примере работы [21]; T_l – левый отсчет оси времени в млн. лет, приведенный в левом углу каждого графика; ε_{t1}, ε_{t2} и ε_{c1}, ε_{c2} – первая и вторая границы больших ($_t$) и малых ($_c$) уровней угла наклона, соответственно; ε_{mo} – среднее значение колебаний угла ε; интервал между точками на графиках равен 200 лет на промежутке 0 – 5 м.л.н. и 500 лет после 5 м.л.н.*

За 20 м.л.н. самое большое значение угла $\varepsilon_{max} = 0.57038 = 32.68^{o}$ было 2.6582 м.л.н, а самое малое $\varepsilon_{min} = 0.24255 = 13.897^{o}$ было 14.208 м.л.н.

Среднее значение ε_{mo} и границы ε_{t1}, ε_{t2}, ε_{c1} и ε_{c2} нанесены на графиках рис. 10. Рассмотрим распределение количеств самых высоких уровней наклона ε, больших ε_{t2} и самых низких уровней, меньших ε_{c2} на интервалах времени в 1 миллион лет. Высокие уровни наклона соответствуют сильным потеплениям в высоких широтах, а низкие – сильным похолоданиям.

Как видно из рис. 10, за первый миллион T = -1 Myr = 1 м.л.н. было 6 периодов с углом наклона $\varepsilon > \varepsilon_{t2}$ и 7 периодов с $\varepsilon < \varepsilon_{c2}$. Углы ε по разному превышают вторые уровни, поэтому эти периоды имеют разную интенсивность и разную длительность. Пренебрегая этим отличием, классифицируем эволюцию ε на миллионных интервалах по количеству превышений угла ε границ ε_{t2} и ε_{c2} (табл. 2).

Как видно из табл. 2, всего было 172 случая превышений вторых уровней. Из них было 90 случаев превышений очень больших углов наклона и 82 случая очень малых. Таким образом, в среднем за 1 миллион лет происходит 8.6 превышений вторых границ. При этом периодов с очень большими углами ε в среднем имеется 4.5, а с очень малыми – 4.1.

Таблица 2. *Количество случаев, когда угол наклона ε превышает границы ε_{t2} и ε_{c2}, на миллионных интервалах времени: T_l – левая граница отсчета времени в м.л.н; $\varepsilon_{t2} + \varepsilon_{c2}$ – сумма превышений границ ε_{t2} и ε_{c2}.*

T_l	ε_{t2}	ε_{c2}	$\varepsilon_{t2} + \varepsilon_{c2}$	T_l	ε_{t2}	ε_{c2}	$\varepsilon_{t2} + \varepsilon_{c2}$	T_l	ε_{t2}	ε_{c2}	$\varepsilon_{t2} + \varepsilon_{c2}$
1	6	7	13	8	5	2	7	15	5	4	9
2	6	5	11	9	3	3	6	16	3	4	7
3	7	6	13	10	6	6	12	17	6	6	12
4	2	3	5	11	2	1	3	18	2	4	6
5	6	5	11	12	7	5	12	19	4	4	8
6	5	5	10	13	4	3	7	20	4	3	7
7	2	3	5	14	5	3	8				
Всего:									90	82	172

Распределим миллионные интервалы на три режима эволюции вращательного движения Земли: обычного, неспокойного и спокойного. С учетом среднего числа превышений, равного 8.6, к обычному режиму эволюции ε отнесем миллионные интервалы с числом превышений $\varepsilon_{t2} + \varepsilon_{c2}$ от 7 до 10.

Как видно из табл. 2, их было 8. При обычном режиме эволюции ε, см. например, рис. 10, интервал с T_l = 19 м.л.н., происходит по 4 периода с очень большими углами наклона и с 4 очень малыми. Или может быть по 5 таких превышений, как в интервале с T_l = 6 м.л.н. В других миллионных интервалах количество очень больших или очень малых углов может отличаться на 1. Только на интервале с T_l = 8 м.л.н. было 5 периодов с очень большими ε и только 2 периода с очень малыми.

К неспокойному режиму эволюции угла ε отнесем интервалы с числом всех превышений 11 и больше. Как видно из табл. 2, их было 7. При неспокойном режиме эволюции, см. например, интервалы с T_l = 3 м.л.н. и 12 м.л.н. происходит по 7 периодов

очень больших углов ε. В другие миллионные интервалы, как например с T_l = 1 м.л.н. было 7 периодов с очень малыми углами наклона. Последний миллионный интервал (T_l = 1 м.л.н.), в котором мы живем, относится к неспокойному режиму эволюции угла ε: здесь было одно из самых наибольших количеств суммарных превышений, а именно 13.

К спокойному режиму эволюции ε относятся интервалы с числом всех превышений 6 и меньше. Таких интервалов было 5. В двух из этих интервалов (T_l = 4 и 7 м.л.н.) имеются 2 периода с большими углами наклона и 3 – с малыми. Самый спокойный режим эволюции был в миллионный интервал с T_l = 11 м.л.н. Здесь было всего 3 периода с превышением границ ε_{c2} и ε_{t2}.

На эволюцию инсоляции Земли кроме угла наклона ε влияют угол перигелия $\varphi_{p\gamma}$ и эксцентриситет орбиты e. Поэтому периоды с наибольшими углами наклона не всегда совпадают с периодами наибольшей инсоляции в высоких широтах [12, 13, 29]. То же относится к наименьшим углам наклона ε и наименьшей инсоляции. Но в целом приведенная статистика режимов эволюции ε и трех групп климата неспокойного, обычного и спокойного совпадает [12, 13, 29].

Представленные на рис. 10 результаты и их анализ показывают, что на интервале 20 м.л.н. происходят стабильные колебания угла наклона ε. Проявившиеся за первые 50 тыс. лет пределы колебаний угла ε от 14.8° до 32.1° [12, 13] практически остаются неизменными в течение 20 м.л.н.

Экстремальные углы наклона происходят в нерегулярном порядке. Такой нерегулярный порядок наступления событий обычно называют хаотическим. Однако, в данном случае, эти события строго детерминированы и происходят в результате влияния многих факторов, определяющих орбитальное движение тел Солнечной системы и вращательное движение Земли. Поэтому рассматриваемый пример является тем случаем, когда воспринимаемые нами хаотически происходящие обстоятельства оказываются обусловленными строго детерминированными причинами. В данном случае, этими детерминированными причинами являются: 1) гравитационное воздействие планет, Солнца и Луны на орбитальное движение Земли, 2) воздействие этих тел на вращательное движение Земли и 3) изменение вращательного движения относительно орбитального.

Рассмотренные выше изменения углов ε и $\varphi_{p\gamma}$, а также эксцентриситета орбиты e представлены на сайте www.ikz.ru/~smulski//Data/Insol в файле OrAl0-5My.prn за 5 м.л.н., в файле OrAl-5-10My.prn на интервале 6 м.л.н. – 10 м.л.н. и в файле OrAl-11-20My.prn на интервале 11 м.л.н. – 20.369 м.л.н. Выполнить анализ этих данных и построить графики можно с помощью программы Insl2bd.mcd, которая имеется на этом сайте.

8. ОСОБЕННОСТИ ЭВОЛЮЦИИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ЗЕМЛИ

8.1. Прецессия оси Земли относительно неподвижного пространства. Представленные изменения параметров вращательного движения ε и ψ позволяют рассмотреть эволюцию самой оси $\vec{N}$ вращения Земли (рис. 11). Такая эволюция оси $\vec{S}$ орбиты Земли была ранее нами рассмотрена [4, 8]. Было показано, что ось орбиты $\vec{S}$ прецессирует по часовой стрелке вокруг вектора момента $\vec{M}$, который является моментом количества движения всей Солнечной системы. В барицентрической экваториальной системе координат *xyz* плоскость, перпендикулярная $\vec{M}$, имеет координаты φ_M = 0.0680946

и i_M = 0.401834, где φ_M – угол восходящего угла этой плоскости, а i_M – ее угол наклона к плоскости экватора *2*. С помощью проекций S_x, S_y и S_z, согласно (40п) - (42п) (Приложение 2), и этих углов определяются проекции оси орбиты Земли S_{xM}, S_{yM} и S_{zM} в системе координат, связанной с вектором $\vec{M}$.

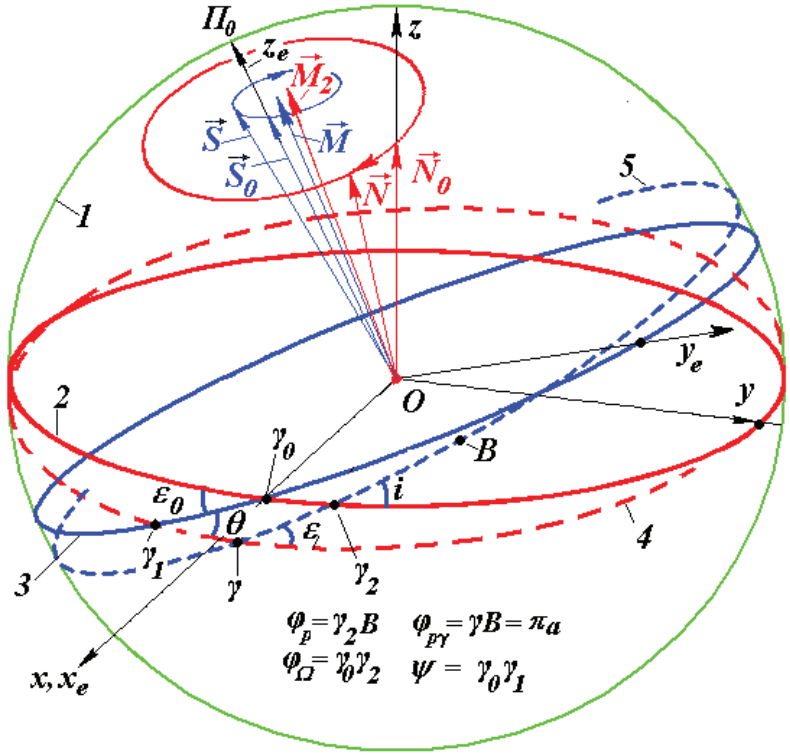


Рис. 11. *Параметры орбиты и оси Земли в неподвижных экваториальной xyz и эклиптической $x_e y_e z_e$ системах координат: 1 – небесная сфера; плоскости в эпоху T_0: 2 –экватора Земли, 3 – орбиты Земли; плоскости в эпоху T: 4 –экватора Земли, 5 – орбиты Земли; единичные вектора:* $\vec{N}$ *– оси Земли,* $\vec{S}$ *– оси орбиты Земли,* $\vec{M}$ *– момента количества движения Солнечной системы;* γ_0 *– точка весеннего равноденствия в эпоху* T_0*; B – положение перигелия на небесной сфере в эпоху* T_0*;* $\varphi_\Omega = \gamma_0\gamma_2$ *– угол восходящего узла орбиты;* $\varphi_p = \gamma_2 B$ *– угол перигелия; i – угол наклона орбиты.*

На рис. 12,а показана прецессия оси орбиты $\vec{S}$ за 5 млн. лет вокруг вектора момента $\vec{M}$. Движение оси $\vec{S}$ как за 5 млн. лет, так и за 100 млн. лет [4] проходит, в основном, в области с расстоянием 0.045 от вектора $\vec{M}$, которое соответствует углу 2.578° между $\vec{S}$ и $\vec{M}$. Только в одном цикле прецессии имеется наибольшее отклонение оси $\vec{S}$ от вектора $\vec{M}$, с расстоянием большим 0.05. Максимальное отклонение 0.0510672 оси $\vec{S}$ от $\vec{M}$ происходит в т. 2_S в эпоху T = -2.326 kyr, на угол 2.926°.

Система координат $x_M y_M z_M$, связанная с вектором $\vec{M}$ момента количества движения Солнечной системы, является инерциальной системой, в которой прецессируют оси орбит

всех планет и Солнца [4, 8]. Возникает вопрос, будут ли прецессировать вокруг вектора $\vec{M}$ оси вращения планет?

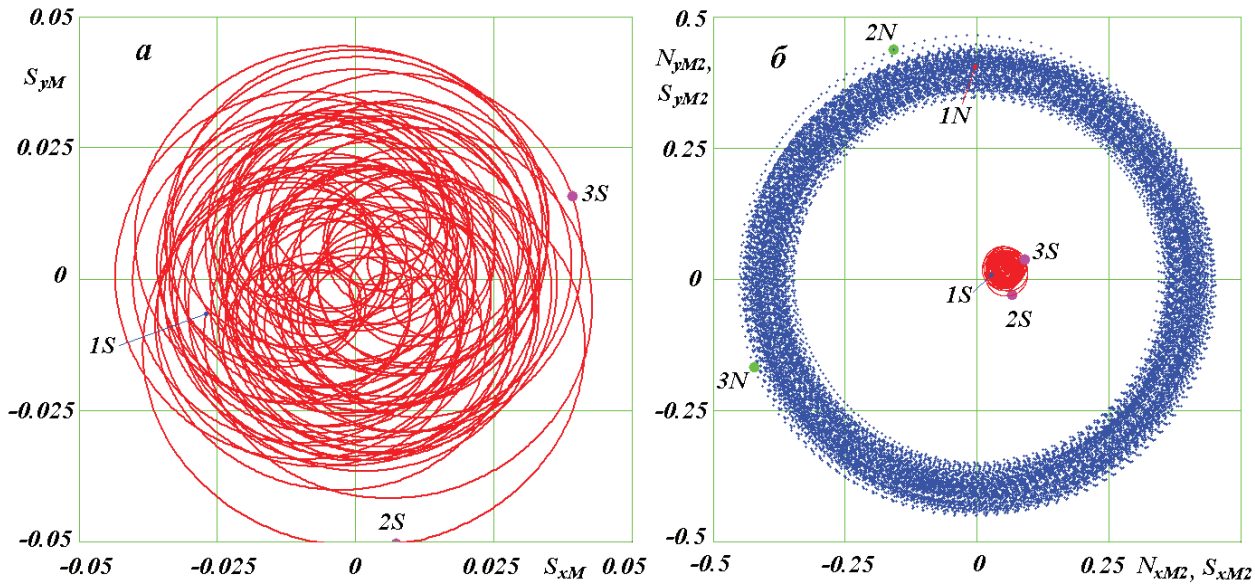


Рис. 12. *Проекции траекторий прецессии осей орбиты Земли $\vec{S}$ (а) и ее оси вращения $\vec{N}$ (б) за 5 м.л.н. на плоскости, перпендикулярные векторам $\vec{M}$ и $\vec{M}_2$, соответственно: положения осей в моменты времени и углы между ними: 1_S и 1_N – T = 0 kyr, ε = 23.443°; 2_S и 2_N – T = -0.2326 Myr, ε = 30.778°; 3_S и 3_N – T = -2.6582 Myr, ε = 32.680°.*

С этой целью аналогичным образом было изучено движение оси $\vec{N}$ вращения Земли. В результате исследований было установлено, что прецессия $\vec{N}$ происходит вокруг оси, смещенной относительно вектора момента $\vec{M}$. Для нахождения этой оси был использован следующий алгоритм. По проекциям N_{xe}, N_{ye} и N_{ze} оси $\vec{N}$ в барицентрической эклиптической системе координат $x_e y_e z_e$, согласно (34п) - (36п) (Приложение 2), определены проекции оси Земли в экваториальной системе координат *xyz*

$$N_x = N_{xe}; \quad N_y = N_{ye}\cdot\cos\varepsilon_0 - N_{ze}\cdot\sin\varepsilon_0; \quad N_z = N_{ye}\cdot\sin\varepsilon_0 + N_{ze}\cdot\cos\varepsilon_0. \qquad (16)$$

По проекциям (16) рассчитываются их средние значения N_{xm}, N_{ym} и N_{zm}, например, за 5 м.л.н. и модуль средней величины

$$N_m = \sqrt{N_{xm}^2 + N_{ym}^2 + N_{zm}^2}\,. \qquad (17)$$

Будем считать, что единичный вектор $\vec{M}_2$, вокруг которого проходит процессия оси Земли $\vec{N}$, совпадает со средним положением оси Земли N_m, т.е. имеет те же проекции N_{xm}, N_{ym} и N_{zm} в экваториальной системе координат *xyz*. Тогда плоскость, перпендикулярная вектору $\vec{M}_2$, наклонена к плоскости экватора *2* (рис. 11) под углом:

$$i_{M2} = \arcsin\left((N_{xm}^2 + N_{ym}^2)^{0.5}/N_m\right), \qquad (18)$$

а угол восходящего угла этой плоскости

$$\varphi_{M2} = \arcsin\left(N_{xm}/(N_{xm}^2 + N_{ym}^2)^{0.5}\right). \qquad (19)$$

За 5 м.л.н. углы равны: i_{M2} = 0.417728 и φ_{M2} = -0.0664662. На рис. 11 прецессия оси вращения Земли $\vec{N}$ показана вокруг неподвижного вектора $\vec{M}_2$. Угол между неподвижными векторами $\vec{M}_1$ и $\vec{M}_2$ равен 3.201402°. С учетом углов (18) и (19) проекции оси вращения Земли на оси системы координат, связанной с вектором $\vec{M}_2$ будут:

$$N_{xM2} = N_x \cdot \cos\varphi_{M2} + N_y \cdot \sin\varphi_{M2}; \quad (20)$$

$$N_{yM2} = N_x \cdot \sin\varphi_{M2} \cdot \cos i_{M2} + N_y \cdot \cos\varphi_{M2} \cos i_{M2} + N_z \cdot \sin i_{M2}; \quad (21)$$

$$N_{zM2} = N_x \cdot \sin\varphi_{M2} \cdot \sin i_{M2} + N_y \cdot \cos\varphi_{M2} \cdot \sin i_{M2} + N_z \cdot \cos i_{M2}. \quad (22)$$

На рис. 12б показана прецессия оси Земли $\vec{N}$ вокруг вектора $\vec{M}_2$ за 5 млн. лет. Точкой 1_N отмечено положение оси в начальный момент времени, а точками 2_N и 3_N – в другие эпохи. Из графика видно, что, действительно, прецессия оси Земли осесимметрична относительно начала координат. В эту точку проектируется вершина вектора $\vec{M}_2$. Ось Земли $\vec{N}$ прецессирует по часовой стрелке при изменении времени в будущее. Прецессия происходит в пределах кольца со средним расстоянием от вектора $\vec{M}_2$ равным 0.4. Среднее отклонение оси $\vec{N}$ от $\vec{M}_2$ составляет θ_{M2} = 23.614°, а максимальное – θ_{M2max} = 27.756°. Здесь угол между этими векторами определяется как

$$\theta_{M2} = \arccos N_{zM2}. \quad (23)$$

Итак, прецессия оси $\vec{N}$ вращения Земли происходит во второй инерциальной системе, связанной с вектором $\vec{M}_2$. Очевидно, что для каждой планеты этот вектор будет свой. Он определяется ее условиями образования, а также ее развитием, связанным с изменением массы.

На рис. 12б также показано движение оси орбиты Земли $\vec{S}$ по отношению к вектору $\vec{M}_2$. Точками 1_S, 2_S и 2_S отмечены положения оси $\vec{S}$ в соответствующие эпохи. Эпоха T = -0.232 Myr с наибольшим углом θ_{M2max} на 600 лет опережает эпоху
T = -0.2326 Myr (т. 2_S на рис. 12б), в которой наибольшее отклонение оси орбиты $\vec{S}$. В эту эпоху (т. 2_N на рис. 12,б) угол θ_{M2} = 27.736°, т.е. очень близок к θ_{M2max}.

Итак, в точках 2_N и 2_S оси $\vec{N}$ и $\vec{S}$ находятся в одну и ту же эпоху T = -0.2326 Myr. Как видим, большое отклонение оси орбиты S вызвало большое отклонение оси Земли $\vec{N}$. Однако центр прецессии оси $\vec{S}$ сдвинут в перпендикулярном направлении линии 2_N2_S отклонения осей $\vec{N}$ и $\vec{S}$. Поэтому угол ε между ними в эту эпоху равный 30.778° не является максимальным (рис. 10). Максимальный за 5 млн. лет угол ε равен 32.68° в эпоху T = -2.6582 Myr, когда оси $\vec{N}$ и $\vec{S}$ находятся в противоположных точках своих траекторий (т. 3_S и 3_N на рис. 12б).

8.2. Эволюция оси вращения Земли во второй инерциальной системе координат. В инерциальной системе, связанной с вектором $\vec{M}_2$, для оси $\vec{N}$ уже был введен угол наклона θ_{M2} в виде (23). Угол прецессии оси $\vec{N}$, отсчитываемый от оси x_{M2}, определяется так:

$$\psi_{M2} = \arcsin\left(N_{xm2}/(N_{xm2}^2 + N_{ym2}^2)^{0.5}\right), \quad (24),$$

где ось x_{M2} направлена по линии пересечения плоскости экватора и плоскости $x_{M2}Oy_{M2}$.

На рис. 13 представлена эволюция углов θ_{M2} и $\Delta\psi_{M2}$ оси вращения Земли относительно неподвижного вектора $\vec{M}_2$ за 1 млн. лет. Угол наклона θ_{M2} за 5 млн. лет изменяется в пределах от 20.044° до 27.756°. Основной период колебаний равен $P_{\theta M2}$ = 41.1 kyr. Здесь же показана эволюция угла между осями $\vec{N}$ и z_e, т.е. угла θ. Он изменяется в диапазоне от 18.594° до 28.677°. Таким образом, размах колебаний угла θ на 2.37° больше размаха колебаний θ_{M2}. Кроме того, у угла θ появились промежуточные колебания (рис. 13).

На рис. 13 представлена также эволюция угла наклона ε между подвижными осями Земли $\vec{N}$ и ее орбиты $\vec{S}$. Он изменяется в диапазоне от 14.676° до 32.68°. Таким образом диапазон колебаний ε больше диапазона колебаний угла θ_{M2} на 10.292°. Кроме того, изменилась структура колебаний. Появившиеся новые колебания угла θ, для угла ε приобрели большие амплитуды. Все эти изменения углов θ и ε по сравнению с углом θ_{M2} объясняются динамикой осей $\vec{N}$ и $\vec{S}$ на рис. 12б.

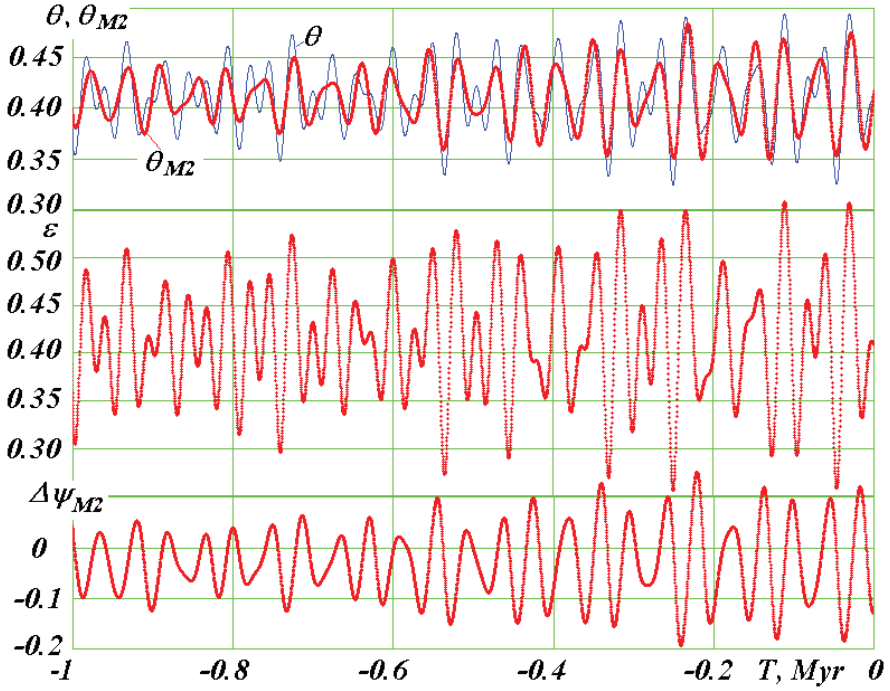


Рис. 13. *Эволюция углов θ_{M2} и $\Delta\psi_{M2}$ оси вращения Земли $\vec{N}$ относительно неподвижного вектора $\vec{M}_2$ за 1 м.л.н. и сопоставление углов наклона θ_{M2} с углами θ и ε.*

Угол прецессии ψ_{M2} оси вращения Земли $\vec{N}$ относительно вектора $\vec{M}_2$ (рис. 11) в среднем за 5 м.л.н. изменяется по линейному закону

$$\psi_{M2a} = \psi_{M20} + 2\pi T/P_{prM2}, \qquad (25),$$

где ψ_{M20} = 3.153580 – угол прецессии при T = 0;

P_{prM2} = -25.732623 kyr – средний период прецессии оси $\vec{N}$ относительно вектора $\vec{M}_2$. Он отличается от периода прецессии относительно оси z_e всего на 0.346 года, т.е. практически совпадает.

На рис. 13 показаны прецессионные колебания оси $\vec{N}$ в виде разности

$$\Delta\psi_{M2} = \psi_{M2} - \psi_{M2a}. \quad (26)$$

Основной период этих колебаний такой же, как у угла наклона θ_{M2}, т.е. равен $P_{\Theta M2}$ = 41.1 kyr. Диапазон колебаний угла $\Delta\psi_{M2}$ равен 20°, при диапазоне колебаний θ_{M2} – 7.7°. Таким образом, наибольшая амплитуда колебаний угла прецессии ψ_{M2} превышает наибольшую амплитуду угла θ_{M2} в 2.6 раза. Колебания углов θ_{M2} и ψ_{M2} не одновременны. Экстремумы θ_{M2} опережают экстремумы ψ_{M2} на $0.25 \cdot P_{\theta M2}$ = -10.275 kyr, т.е. при изменении времени в будущее вначале возникает экстремум θ_{M2}, а через 10.275 kyr появляется экстремум $\Delta\psi_{M2}$.

8.3. Физическое отличие прежней и новой теорий эволюции оси вращения Земли. В прежней теории эволюции оси вращения Земли основной период колебаний равнялся 41 тыс. лет. Как уже отмечалось, эта теория основывалась на решении упрощенных дифференциальных уравнений (7)-(8) первого порядка. В результате такого упрощенного рассмотрения положения векторов $\vec{M}_2$ и $\vec{M}$ совпадало (рис. 11), что на рис. 12б соответствует совпадению центра траектории оси орбиты Земли $\vec{S}$ с центром траектории оси вращения $\vec{N}$. Так как эти оси прецессируют в одном направлении (за часовой стрелкой), то влияние орбитального движения на вращательное будет зависеть от их относительной скорости прецессии $2\pi/P_{prM2}$ - $2\pi/P_{prS}$, т.е. период этого влияния будет определяться так:

$$P_{rl} = \frac{P_{prS} \cdot P_{prM2}}{P_{prS} - P_{prM2}} = -41.1\,\text{kyr}, \quad (27),$$

где P_{prS} = -68.7 kyr.

Таким образом, периодом колебаний угла ε в прежней теории эволюции оси Земли является период относительной прецессии P_{rl} осей вращения $\vec{N}$ и орбиты $\vec{S}$. Отсюда следует физическое объяснение отличия новой теории эволюции оси Земли от прежней. В прежней теории оси прецессии $\vec{M}$ и $\vec{M}_2$ осей орбиты $\vec{S}$ и Земли $\vec{N}$ совпадали. В новой теории (рис. 11 и рис. 12б) они не совпадают. Вследствие несовпадения векторов $\vec{M}$ и $\vec{M}_2$ моменты сил воздействия всех тел на Землю имеют больший размах колебаний. Поэтому увеличивается размах колебаний θ относительно неподвижной системы координат $x_e y_e z_e$. Дополнительно к этому увеличивается размах колебаний угла ε между подвижными осями орбиты $\vec{S}$ и оси $\vec{N}$. В итоге амплитуда колебаний угла ε по новой теории превышает амплитуду колебаний по прежней теории в 7-8 раз.

8.4. Короткопериодическая эволюция оси Земли. Короткопериодические колебания оси Земли, которые меньше периодов продолжительностью в десятки тысяч лет, начинаются с периода 18.6 лет. Поэтому рассмотрим эволюцию оси Земли на интервалах времени 100 лет и меньше. Проекции оси Земли N_{xe}, N_{ye}, N_{ze}, согласно (34п) - (36п), в системе неподвижной эклиптики усредним на текущих интервалах времени 18.6 лет. Тогда скользящие средние этих величин $N_{xet18.6}$, $N_{yet18.6}$, $N_{zet18.6}$ представляют проекции средней за 18.6 лет оси Земли $\vec{N}_{t18.6}$. Рассмотрим эволюцию мгновенной оси Земли относительно средней:

$$\Delta N_{xe1} = N_{xe} - N_{xet18.6}; \quad \Delta N_{ye1} = N_{ye} - N_{yet18.6}; \quad \Delta N_{ze1} = N_{ze} - N_{zet18.6}. \quad (28)$$

На рис. 14а показана эволюция мгновенной оси Земли в плоскости, перпендикулярной вектору средней оси $\vec{N}_{t18.6}$. Решение уравнений (4)-(5) выполнялось на интервале от T = 0 до T = -100 лет. Результаты выдавались с интервалом ΔT_e = 0.04 года. Начальная точка *1* соответствует моменту T_1 = -9.28 лет, а весь график с конечной точкой *2* представлен за 18.6 лет. Как видно из рис. 14а, мгновенная ось $\vec{N}$ совершает полный оборот вокруг средней $\vec{N}_{t18.6}$ за 18.6 года. Ее движение происходит по часовой стрелке при изменении времени в будущее. Траекторией этого движения является симметричный овал с большой осью $a_{N1} = 4.2 \cdot 10^{-5}$, расположенной вертикально. Другие обороты, за оставшиеся до 100 лет решения уравнений (4)-(5), накладываются на этот овал. Они не показаны, чтобы не затенять короткопериодические движения мгновенной оси.

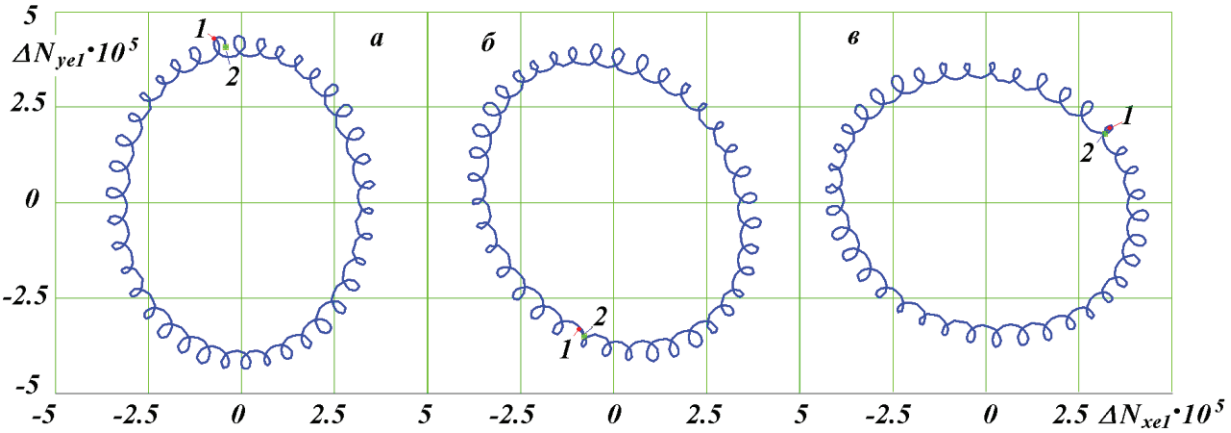


Рис. 14. *Движение в прошлое за 18.6 года мгновенной оси вращения Земли* $\vec{N}$ *относительно скользящей средней оси* $\vec{N}_{t18.6}$ *в разные эпохи: 1 и 2 – начальная и конечная точки движения, соответственно; начальные моменты времени* T_1 *в эпохи: а –* T_1*= -0.00928 kyr; б –* T_1*= -2.50928 kyr; в –* T_1*= -5.00928 kyr.*

Как видно из рис. 14а, мгновенная ось совершает также более мелкие вращения против часовой стрелки при изменении времени в будущее. Их период равен 0.5 года. За 18.6 лет имеется больше 37 таких мелких вращений.

Вращение мгновенной оси $\vec{N}$ относительно средней $\vec{N}_{t18.6}$ происходит по овалу, а не по окружности. Эта особенность потребовала проведения дополнительных исследований с проекциями вектора $\vec{N}$ в других системах координат, связанных с подвижным экватором и эклиптикой, а также в неподвижной системе, связанной с вектором $\vec{M}_2$. Во всех этих системах траектория оставалась овалом. Были повторены расчеты за 100 лет, но только в другие эпохи: T = -2.5 kyr (рис. 14б) и T = -5 kyr (рис. 14в). Формы овалов не изменились, однако расположение больших осей оказалось повернутым: за -2.5 kyr на 36° (рис. 14б) и за -5 kyr – на 72° (рис. 14в). Эти результаты показывают, что овал совершает полный оборот за период прецессии P_{pr} = -25.74 kyr. Вращение происходит по часовой стрелке при изменении времени в будущее.

Так как вектора оси имеют единичную длину, то наибольшее отклонение мгновенной оси $\vec{N}$ от средней $\vec{N}_{t18.6}$

$$\Delta\theta_1 = \arcsin(a_{N1}) = 8.7". \quad (29)$$

Если начало вектора оси $\vec{N}_{t18.6}$ расположить в центре Земли перпендикулярно экватору, то ось мгновенной оси $\vec{N}$ на ее поверхности будет описывать овал с большой осью

$$R_{P1} = R_{EP} \cdot a_{N1} = 267 \text{ м}, \quad (30),$$

где R_{EP} = 6356.765 км – полярный радиус Земли.

Итак, при изменении времени в будущее мгновенная ось вращения Земли по часовой стрелке описывает овал вокруг средней $\vec{N}_{t18.6}$ за 18.6 года. Этот овал также поворачивается по часовой стрелке, совершая полный оборот за 25.74 тыс. лет. Эти движения на поверхности Земли соответствуют движению мгновенного Северного полюса по овалу с большой осью равной 267 м. Движения по овалу за 18.6 лет и его вращение за 25.74 тыс. лет происходит по часовой стрелке. При этом происходят мелкие вращения мгновенного полюса против часовой стрелки с периодом 0.5 года.

Для изучения более коротких периодов эволюции оси Земли уравнения (4)-(5) были проинтегрированы за 20 лет в прошлое с выдачей результатов через ΔT_e = 0.002 года. Были рассчитаны скользящие средние проекции оси Земли за 0.5 года: $N_{xet0.5}$, $N_{yet0.5}$, $N_{zet0.5}$, а также отклонения от их мгновенной оси ΔN_{xe2}, ΔN_{ye2}, ΔN_{ze2}, которые определялись аналогично (28). На рис. 15а показана траектория движения мгновенной оси $\vec{N}$ относительно средней $\vec{N}_{t0.5}$.

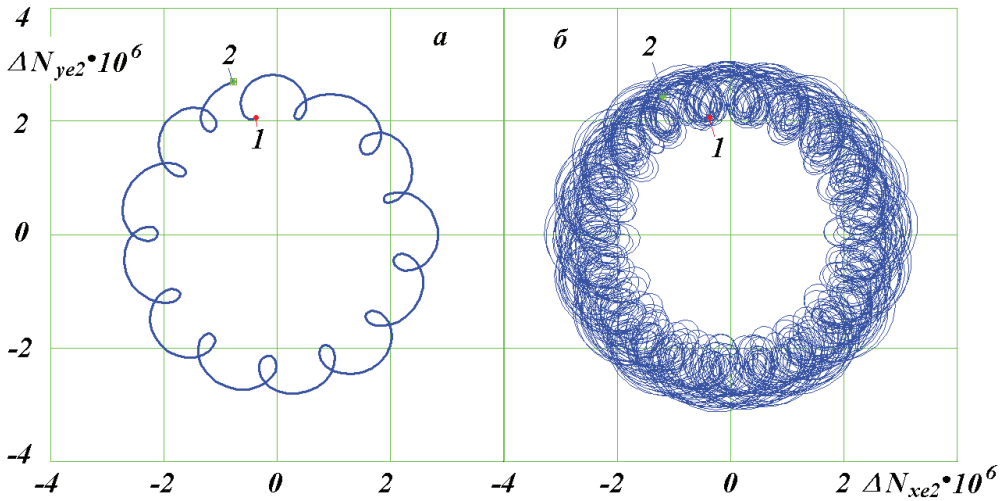


Рис. 15. *Движение в прошлое за полгода (а) и за 19.5 лет (б) мгновенной оси вращения Земли* $\vec{N}$ *относительно скользящей средней оси* $\vec{N}_{t0.5}$ *: 1 и 2 – начальный и конечный точки движения, соответственно; начальный момент времени* T_1 *= -0.0025 kyr.*

Ось $\vec{N}$ совершает полный оборот за 0.5 года против часовой стрелки при изменении времени в будущее, начиная с точки *2* и заканчивая точкой *1* при T = -0.25 года. При этом происходит почти 13 дополнительных малых оборотов, направленных также против часовой стрелки. Продолжительность малых оборотов равна полумесяцу. На рис. 15б эти движения оси Земли от начальной точки *1* до конечной *2* показаны за 19.5 лет. В данном случае полугодовые движения происходят по окружности с радиусом не больше $a_{N2} = 3 \cdot 10^{6}$. Это соответствует отклонению мгновенной оси от средней на угол $\Delta\theta_2$ = 0.62". А на поверхности Земли мгновенная ось вокруг средней $\vec{N}_{t0.5}$ будет совершать эти движения в пределах круга радиусом R_{P2} = 19 м.

Аналогичные исследования были выполнены по полумесячным движениям мгновенной оси Земли $\vec{N}$ относительно средней $\vec{N}_{t0.5M}$ за 0.5 месяца. На рис. 16а эти движения показаны на графике $\Delta N_{ye3}(\Delta N_{xe3})$ за 0.5 года.

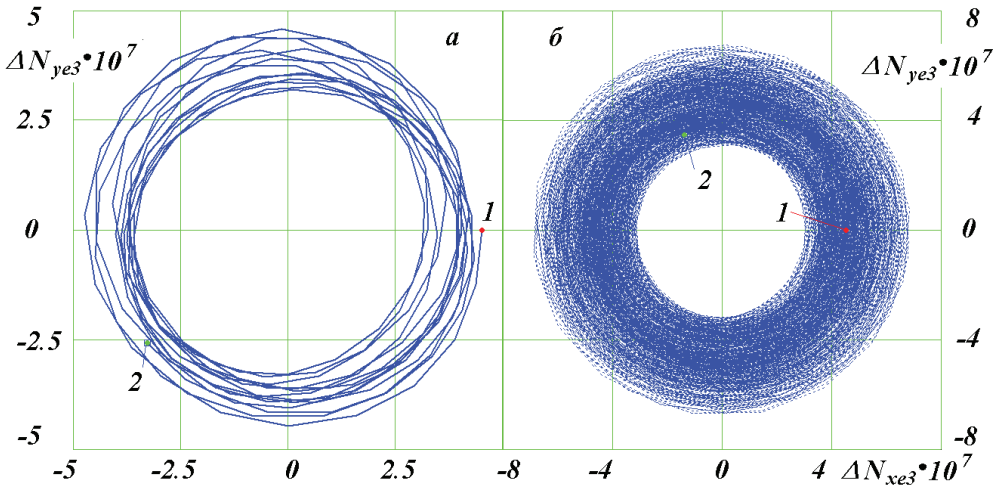


Рис. 16. *Движение в прошлое за полгода (а) и за 20 лет (б) мгновенной оси вращения Земли* $\vec{N}$ *относительно скользящей средней оси* $\vec{N}_{t0.5M}$ *: 1 и 2 – начальный и конечный точки движения, соответственно; начальный момент времени* T_1 *= -0.00018 kyr; масштабы на рис. а и б – разные.*

Мгновенная ось вращения Земли, при изменении времени в будущее, начиная с точки *2* до момента *1* при T = -0.0018 года, движется против часовой стрелки. За полмесяца она совершает оборот по траектории, близкой к окружности. Однако окружности эти незамкнутые и с каждым оборотом смещаются. За 20 лет полумесячные обороты оси Земли заполняют кольцевую область с радиусом от $3 \cdot 10^{-7}$ до $7 \cdot 10^{-7}$ (рис. 16б), т.е. со средним расстоянием от центра $a_{N3} = 5 \cdot 10^{-7}$. Это соответствует отклонению мгновенной оси от средней $\vec{N}_{t0.5M}$ на $\Delta\theta_3$ = 0.1" и полумесячному ее движению на поверхности Земли по кругу радиусом R_{P3} = 3 м.

Итак, при изменении времени в будущее мгновенная ось вращения Земли совершает полугодовое движение против часовой стрелки вокруг средней за 0.5 года оси $\vec{N}_{t0.5}$, а также

направленное в ту же сторону полумесячное движение вокруг средней за полумесяц оси $\vec{N}_{t0.5M}$. При этом радиус полумесячного движения в 6 раз меньше полугодового.

Непрерывное движение оси Земли приводит к проблеме определения точек ее пересечения с поверхностью Земли, которые называют полюсами. Их определяют по положению средней оси вращения Земли. Тогда мгновенная ось вращения Земли будет совершать относительно полюса циклические движения. Вышепредставленные исследования показывают, что вид этих движений зависит от того, по какому усреднению назначены географические полюса Земли.

В этой связи рассмотрим движение мгновенной оси Земли относительно скользящей средней $\vec{N}_{tPpr}$ за период прецессии оси Земли P_{pr} = -25.74 тыс. лет. Рассчитаем проекции $\vec{N}_{tPpr}$, и аналогично (28) – проекции отклонений ΔN_{ye4} и ΔN_{xe4} мгновенной оси от скользящей средней $\vec{N}_{tPpr}$. График $\Delta N_{ye4}(\Delta N_{xe4})$ представляет собой узкое кольцо толщиной 0.02 и радиусом 0.4. Это соответствует отклонению мгновенной оси от средней $\vec{N}_{tPpr}$ на $\Delta\theta_4$ = 23.58° и ее движению на поверхности Земли по кругу радиусом R_{P4} = 2542 км. При изменении времени в будущее мгновенная ось Земли по часовой стрелке совершает оборот вокруг $\vec{N}_{tPpr}$ за 25.74 тыс. лет.

9. КОЛЕБАНИЯ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ СОБСТВЕННОГО ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ

В литературе рассматривают ряд факторов, которые могут влиять на вращение Земли. Это изменения в распределении воздушных масс в атмосфере, снежного и ледового покровов, изменения уровня Мирового океана, взаимодействие внутренних оболочек Земли и т.д. [6]. Все эти факторы являются предполагаемыми. Поэтому представляет интерес колебания угловой скорости вращения Земли, которые непосредственно следуют из взаимодействия Земли с окружающими ее телами.

Как видно из уравнения (6), собственная скорость вращения Земли $\dot{\varphi}$ зависит от скорости прецессий $\dot{\psi}$ оси Земли и угла ее наклона θ. Поэтому вариации последних двух параметров приводят к вариациям угловой скорости вращения Земли $\dot{\varphi}$. Далее будем рассматривать изменение периода собственного вращения Земли, который связан с $\dot{\varphi}$ так:

$$P_{rt} = 2\pi/\dot{\varphi}. \qquad (32)$$

Так как вариации периода P_{rt} небольшие, то будем рассматривать их разности в миллисекундах в виде $\Delta P = P_{rt} - P_{rtm}$, где P_{rtm} – среднее значение периода P_{rt} на исследованном интервале времени. С точностью до 6 знаков сидерический период вращения Земли равен P_{rtm} = 0.997270 дня.

На рис. 17 представлено изменение отклонения ΔP на четырех интервалах времени: 0 – -2 года; 0 – -20 лет; 0 – 5 тыс. лет и 0- -500 тыс. лет. Первые два интервала представляют результаты интегрирования уравнений (4) - (5) за -20 лет с шагом $\Delta T_s = 0.4\cdot10^{-4}$ года. На интервале 0 – 5 тыс. лет шаг интегрирования был $\Delta T_s = 1\cdot10^{-4}$ года, а последний интервал представляет результаты интегрирования за -5 млн. лет с таким же шагом. Точки на графиках даны с шагами ΔT_e, значительно превышающими шаги интегрирования ΔT_s.

На первом интервале 0 – -2 года видны полумесячные и полугодовые колебания ΔP с периодами 13.66 дня и 182.6 дня, соответственно. Их средние амплитуды соответственно равны 5.2 мсек. и 2.5 мсек, где 1 мсек = $1 \cdot 10^{-3}$ сек. Амплитуды в соседних колебаниях – разные. Здесь приведены средние их значения. Полумесячные колебания имеют наибольшую амплитуду. Полугодовые колебания с меньшей амплитудой модулируют их.

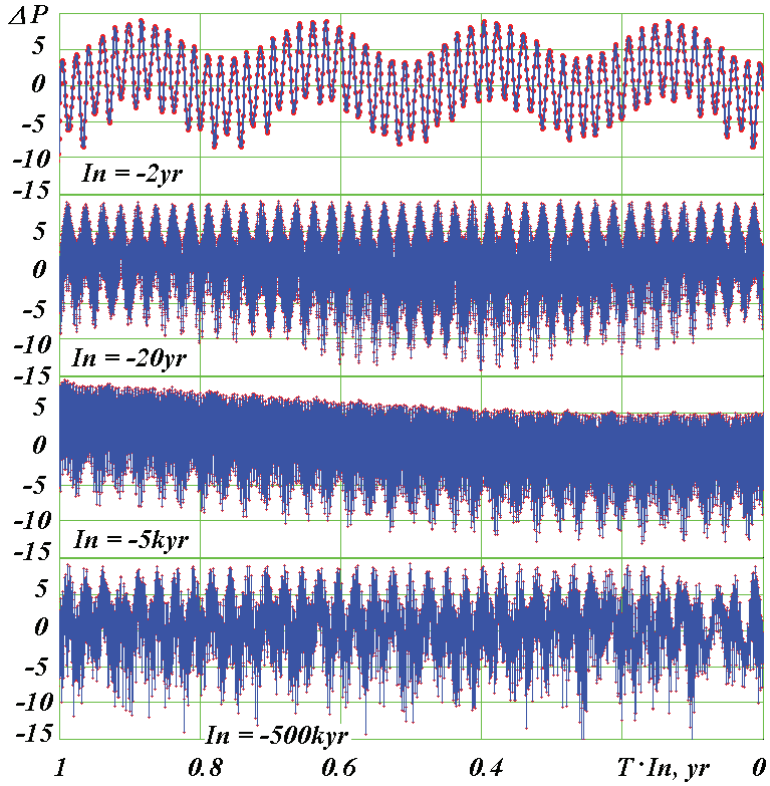


Рис. 17. *Динамика отклонения сидерического периода вращения Земли на четырех интервалах времени In = 2, 20, 5000 и 500000 лет назад: yr – год.*

На втором интервале 0 – -20 лет нижние части колебаний изменяются, это происходит модуляция колебаний величины ΔP с периодом 18.6 лет. Амплитуда этих колебаний равна 1 мсек. Эти колебания обусловлены прецессией оси орбиты Луны с таким же периодом.

На последних двух интервалах 0 – -5 тыс. лет и 0 – -500 тыс. лет величина ΔP не превышает пределов отклонений на предыдущих интервалах. Это свидетельствует, что кроме выявленных трех периодов колебаний других периодов со значимыми амплитудами нет. Наблюдаемые на последних двух графиках колебания ΔP с периодами 152 года и 13.2 тыс. лет обусловлены разреженностью данных: интервалы между точками составляют 1 год и 200 лет, соответственно, в то время когда периоды колебаний равны полмесяца и полгода. Поэтому выбранные точки этих колебаний с последовательностью ΔT_e образуют фиктивные колебания с периодами 152 года и 13.2 тыс. лет. На графике интервала 0 – -5 тыс. лет наблюдается также тренд ΔP. Он также обусловлен разреженностью данных. Этот вывод подтверждается на всем исследованном интервале за -5 млн. лет: диапазон отклонений ΔP находится в пределах от -15 до 10 мсек.

Итак, сидерический период собственного вращения Земли колеблется с полумесячными, полугодовыми периодами и периодами 18.6 лет. Амплитуды этих колебаний с увеличением периодов уменьшаются в последовательности: 5.2, 2.5 и 1 мсек, соответственно.

Как уже отмечалось, амплитуды соседних полумесячных и полугодовых колебаний неодинаковы. Они больше для колебаний, соответствующим тем полумесяцам и полугодиям, которые содержат перицентрии орбит Луны и Земли, соответственно.

Угол собственного вращения φ оси Земли отсчитывается по подвижному экватору *4* от линии $O\gamma_1$ (рис. 11) его пересечения с неподвижной плоскостью орбиты Земли *3*. Эта линия подвижна в пространстве, поэтому скорость собственного вращения $\dot{\varphi}$ и его период P_{rt} колеблются из-за колебания системы отсчета, связанной с этой линией.

10. ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ДОСТОВЕРНОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О ВРАЩЕНИИ ЗЕМЛИ

Вопросы достоверности решения задачи о вращении Земли детально рассмотрены в работах [12, 13, 28, 29]. В рамках принятой технологии ее решения все необходимые проверки были выполнены. Например, задача решалась последовательно, при воздействии одного из 10 тел: Солнца, 8-ми планет и Луны [14, 26]. Полученные периоды колебаний оси Земли подтвердились общетеоретическими выводами на основании теоремы моментов, а также результатами других авторов [19]. При воздействии всех тел задача решалась за разные интервалы времени, и полученные результаты, как показано ранее, совпали с наблюдениями. Интегрирование уравнений (4) - (5) за 200 тыс. лет проводилось с разными начальными условиями и с разными шагами интегрирования. Это не привело к изменению периодов колебаний, их амплитуд и моментов наступления экстремумов.

Как уже отмечалось, задача о вращении Земли является одной из самых сложных задач механики. Это также подтверждается видом уравнений (4)-(5). Их вывод связан с рядом переходов из одной системы координат в другую, с принятием определенных упрощений и приближений. Вид решений может зависеть от выбора начальных условий, метода решения, а также от преобразований решений относительно подвижной орбиты Земли. Поэтому кардинальной проверкой полученных результатов являлось бы их получение без решения дифференциальных уравнений (4)-(5).

При исследовании орбит выяснилось, что эволюция оси орбиты Луны подобна эволюции оси вращения Земли. Этот результат привел нас к составной модели Земли, в которой часть массы Земли равномерно распределена между периферийными телами, обращающимися вокруг центрального тела по круговой орбите. Под воздействием Луны, Солнца и планет орбиты периферийных тел начинают изменяться. Эволюция оси орбиты одного из этих тел моделирует эволюцию оси вращения Земли. Такое моделирование вращательного движения Земли включает несколько стадий решения орбитальной задачи с помощью программы Galactica. В первоначальной серии исследований [3, 4] было изучено три модели, и была подтверждена возможность моделирования эволюции Земной оси. В этих моделях периоды прецессии осей орбит моделей были 170 лет и 2604 года, в то время как средний период прецессии оси Земли P_{pr} = -25740 лет. В последующем было разработано еще 11 моделей, пока не был достигнут необходимый период прецессии. В 13-ой модели радиус орбиты периферийных тел равен радиусу Земли, их период

обращения 0.142 часа, а взаимодействие между телами модели усилено в 9.6 раза по сравнению с гравитационным воздействием. Таким образом, тела 13-ой модели в 170 раз вращаются быстрее Земли. Чтобы исследовать эволюцию таких моделей была создана программа Galactica с измененным взаимодействием между определенными телами.

Решение задачи для 13-ой составной модели Земли на интервале 300 лет [12, 13, 29] дало все характеристики динамики земной оси, в том числе полумесячные, полугодовые и с периодом 18.6 лет колебания углов ε и ψ. Их амплитуды также совпали с результатами задачи (4)-(5). Такое совпадение результатов модельной задачи с результатами прямой происходит до 3 тыс. лет. Дальнейшее решение задачи затруднено необходимостью уменьшать шаг интегрирования до таких величин, при которых требуется невыполнимое время счета.

Итак, составная модель Земли на интервале 3000 лет подтвердила полученные результаты интегрирования дифференциальных уравнений (4)-(5) вращения Земли. Это свидетельствует, что принятые допущения и упрощения при выводе уравнений, их вывод, метод решения и преобразование результатов интегрирования в конечный вид также подтвердился.

Вторая независимая проверка заключалась в использовании более точного метода при интегрировании уравнений (4)-(5), а именно метода Рунге-Кутты 8-ого порядка в реализации Дорманда и Принса [17]. До этого в программе DfEqAl1-.for использовался метод интегрирования Рунге-Кутты 4-ого порядка в реализации Крутько и др. [1]. Мы использовали его в течение нескольких десятков лет для решения разнообразных задач, и всегда получали удовлетворительные результаты. При интегрировании уравнений (4)-(5) за интервалы времени порядка 200 тыс. лет мы столкнулись с неожиданным недостатком этого метода. Амплитуда суточных колебаний производных $\dot{\psi}$ и $\dot{\theta}$ к концу интервала интегрирования увеличивалась на несколько порядков. Была разработана программа решения задачи DfEqADP8-.for с методом Дорманда-Принса и уравнения (4)-(5) была проинтегрированы на разных интервалах времени, включая 200 тыс. лет. Все полученные ранее результаты подтвердились. При этом амплитуды суточных колебаний $\dot{\psi}$ и $\dot{\theta}$ не увеличиваются и остаются на одном уровне. Итак, метод интегрирования уравнений не влияет на полученные результаты, и применение более точного метода подтверждает их.

Третья независимая проверка заключалась в смене технологии решения задачи. В дифференциальные уравнения вращательного движения (4)-(5) входят координаты x_{1i}, y_{1i}, z_{1i} воздействующих на Землю тел. Они определяются при решении орбитальной задачи с помощью программы Galactica. Однако массив этих данных с шагом интегрирования задачи (4)-(5) за большие промежутки времени занимает нереализуемый объем памяти. Поэтому мы создали математическую модель Солнечной системы [9], которая в необходимый момент времени позволяет получать координаты тел x_{1i}, y_{1i}, z_{1i} на основании результатов задачи двух тел: материнского тела и его спутника. При этом параметры орбиты тела: e, i, φ_Ω, φ_p, R_p. и др. в каждый момент определяются по данным, предварительно рассчитанных с помощью программы Galactica. В процессе решения этой задачи математическая модель Солнечной системы была всесторонне проверена. Тем не менее, оставалась вероятность того, что на больших интервалах времени несущественные отличия результатов математической модели Солнечной системы от значений координат,

полученных с помощью программы Galactica, могут повлиять на эволюцию параметров вращательного движения ε и ψ. Была разработана новая программа glc3rte2.for совместного решения орбитальной задачи и задачи о вращении Земли. В ней за один шаг по времени происходит решение методом программы Galactica орбитальной задачи, затем методом Дорманда-Принса за этот шаг решается задача о вращении Земли. С помощью новой программы были выполнены решения этих двух задач за разные интервалы времени, включая интервал 200 тыс. лет. Все ранее полученные результаты подтвердились. Этой проверкой была также подтверждена математическая модель Солнечной системы на большом интервале времени.

В табл. 3 приведены количественные сравнения периода прецессии P_{pr}, и минимального ε_{min} и максимального ε_{max} углов наклона с точностью до пятой значащей цифры. С этой точностью первые два метода полностью совпали. Результаты третьего метода, как видно из табл. 3, по периоду прецессии P_{pr} отличаются в 4-ом знаке, а по углу наклона ε – в 5-ом. Так этот метод является боле точным, то последние величины являются уточнением результатов, полученных первыми двумя методами.

Таблица. 3. *Сравнение результатов трех методов интегрирования уравнений вращательного движения (4)-(5) за 200 т.л.н.: РГ-4 – метод Рунге-Кутты 4-ого порядка; ДП-8 – метод Рунге-Кутты 8-го порядка в реализации Дорманда-Принса; Gal – координаты тел, входящих в уравнения (4)-(5), определяются по программе Galactica, уравнения решаются методом ДП-8.*

Метод	P_{pr}, лет	ε_{min}	ε_{max}
РГ-4	-25774	14.806°	32.073°
ДП-8	-25774	14.806°	32.073°
Gal	-25749	14.802°	32.077°

Итак, выполненные разнообразные тестирования и проверки первоначального метода решения задачи о вращении Земли, а также независимые от него решения этой задачи тремя другими методами подтвердили, что ось вращения Земли совершает колебания с амплитудой в 7-8 раз большей, нежели в решениях наших предшественников.

Следует отметить, что установленная выше прецессия оси вращения Земли относительно вектора $\vec{M}_2$, позволяет наметить пределы применимости составной модели вращения Земли. Как уже отмечалось, при решении орбитальной задачи за 100 м.л.н. было установлено, что оси орбит планет процессируют вокруг вектора момента количества движения $\vec{M}$, а ось орбиты Луны – вокруг оси орбиты Земли $\vec{S}$. Аналогично орбите Луны будут прецессировать и периферийные тела составной модели. Поэтому эту модель можно применять на интервалах времени меньших периодов прецессии орбиты и оси Земли. Ее исследования действительно, как отмечено выше, дали достоверные результаты на интервале 3 тыс. лет, который значительно меньше периода прецессии оси Земли 25.74 тыс. лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гравитационное воздействие Луны, Солнца и планет приводит к прецессии оси Земли со средним периодом 25.74 тыс. лет. Прецессионное движение не постоянно. Оно проходит с колебаниями. Короткопериодические колебания заключаются в дополнительных прецессионных движениях с полумесячным, полугодовым периодами и периодом 18.6 лет. Размеры дополнительных прецессий увеличиваются с ростом периода. При наибольшем периоде 18.6 года амплитуда колебания угла наклона ε рана 9.2″.

Долгопериодические колебания прецессии оси Земли обусловлены колебаниями орбиты Земли. Они приводят к смещению воздействующих на Землю тел относительно ее плоскости экватора, в первую очередь Луны и Солнца. На вращательное движение Земли оказывают влияние три характеристики орбитального движения Земли: прецессионное движение орбиты Земли с периодом 68.7 тыс. лет, движение ее перигелия с сильно изменяющимся периодом и колебания эксцентриситета с несколькими периодами. При этом влияние прецессии орбиты и вращения перигелия определяется относительными периодами этих двух движений орбиты по отношению и прецессионному движению оси Земли.

Прецессионные движения оси Земли и ее орбиты проходят вокруг разных направлений в пространстве, угол между которыми равен 3.2°. Поэтому на кругах прецессии и движения перигелия орбиты имеются моменты времени, когда есть сближения или удаления с положением Земли на круге ее прецессии. Это обстоятельство приводит к дополнительной модуляции угла наклона ε. Вся совокупность этих воздействий приводит к колебаниям оси Земли от 14.68° до 32.68°. Уровень этих колебаний сохраняется на всем исследованным интервале в 20 млн. лет.

Множество перечисленных факторов являются причиной того, что долгопериодические колебания оси Земли происходят в нерегулярном порядке, который называют хаотическим. Однако, эти колебания строго детерминированы, и каждое из них имеет точную дату проявления.

Новая астрономическая теория изменения климата, основанная на этих решениях задачи о вращении Земли, была сопоставлена с палеоклиматом. Разрозненные, часто противоречивые из-за разной трактовки свидетельства колебаний палеоклимата объединяется новыми колебаниями инсоляции Земли. Более того, новая структура колебаний солнечного тепла в высоких широтах показывает неизбежность наблюдающихся колебаний палеоклимата. Поэтому, на наш взгляд, эти колебания орбитального и вращательного движения Земли являются главной причиной долгопериодических колебаний климата.

Особенности вращательного движения Земли являются одним из источников различных геофизических моделей Земли и ее оболочек. Нам представляется, что полученные результаты будут являться источником для их уточнения. В качестве примера приведем некоторые соображения по магнитному полю Земли. В настоящее время предполагается, что его источником является некоторая структура внутри Земли.

Однако существует ряд свидетельств о том, что атмосфера Земли, обладающая электрическим зарядом, может давать существенный вклад в магнитное поле Земли. Вспышки на Солнце проявляются потоками солнечного вещества, которое возмущает атмосферу Земли. При этом происходят существенные нарушения магнитного поля Земли,

которые называют магнитными бурями. Планеты, как Меркурий и Марс, имеющие крайне разреженную атмосферу, не имеют значимого магнитного поля. Невращающиеся планеты, имеющие как Венера мощную атмосферу, также не имеют магнитного поля. Только планеты, как Земля, Юпитер и Сатурн, обладающие атмосферой и, к тому же вращающиеся, имеют сильное магнитное поле.

Вращающаяся атмосфера не жестко связана с Землей. Поэтому под влиянием внешних тел она, как и Земля, будет прецессировать. Если периоды и фазы прецессии атмосферы и Земли будут не совпадать, то не совпадать будут и их оси прецессии. Таким образом, магнитный полюс будет смещаться относительно географического. Будет наблюдаться картина, аналогичная движению мгновенной оси вращения Земли $\vec{N}$ относительно скользящей средней $\vec{N}_{tPpr}$, рассмотренной ранее в п. 8.3. Наблюдаемые движения магнитного полюса, на наш взгляд, являются подтверждением атмосферного происхождения магнитного поля.

Мы привели этот пример возможного влияния полученных результатов на понимание геофизических процессов на Земле, чтобы привлечь внимание специалистов. Представленный здесь механизм эволюции оси Земли позволит по-новому взглянуть на известные им факты, и, возможно, по-другому их объяснить.

Благодарности. Настоящая статья является итогом 20-летней работы автора в Институте криосферы Земли по этой теме, которая в последние годы выполнялась в рамках госзадания Рег. № НИОКТР АААА-А17-117051850061-9. Представленные результаты по эволюции вращательного движения Земли основаны на решении задач об орбитальном и вращательном движениях Земли на суперкомпьютерах ЦКП Сибирского Суперкомпьютерного Центра ИВМиМГ СО РАН.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ

1.1. Введение. Задача о вращении Земли решается в системе неподвижной эклиптики на эпоху 2000.0 г. с юлианским днем JD_S = 2451545, а начало решения рассматривается в сдвинутый на 0.5 столетия момент T = 0 с датой 30.12.1949 г. и юлианским днем JD_0 = 2433280.5. Положение плоскостей орбиты Земли и экватора на небесной сфере на эпоху JD_S и произвольную эпоху JD представлено на рис. 4.

В астрономии приводятся осредненные изменения параметров, отражающих орбитальное и вращательные движения Земли. Как правило, их получают выдающиеся астрономы, в результате обобщения всех данных наблюдения и анализа их предшествующих обобщений. Такие обобщения следуют через многие десятилетия и даже через несколько веков. Последнее обобщение С. Ньюкомба [23] в конце 19 века являлось астрономической основой для вычислений в 20 веке. В конце 20 века появилось обобщение Дж. Симона и др. [25]. Поэтому рассмотрим определение начальных условий по этим двум обобщениям.

1.2. Начальные условия по С. Ньюкомбу. Для определения начальных значений углов θ и ψ и их производных в эпоху T = 0 по С. Ньюкомбу [23] для необходимых угловых параметров (см. рис. 4) используем следующие зависимости:

$$\varepsilon = 23^\circ.45229444 - 0^\circ.0130125\cdot T_{tp}(T) - 0^\circ.16388889\cdot 10^{-5}\cdot (T_{tp}(T))^2 + \\ + 0^\circ.50277778\cdot 10^{-6}\cdot (T_{tp}(T))^3; \qquad (1п)$$

$$p_1 = d\gamma_0\gamma_1/dT = d\psi/dt = -[50''.37084 + 0''.00493\cdot T_{tp}(T)]; \quad (2п)$$

$$p = d\gamma_2\gamma/dT = -[50''.25641 + 0''.02223\cdot T_{tp}(T)]; \quad (3п)$$

$$\pi_\varepsilon = di_{e0}/dT = 0''.47107 - 0''.00068\cdot T_{tp}(T), \quad (4п),$$

где $T_{tp}(T)$ – время в тропических столетиях по 36524.22 эфемеридных суток от фундаментальной эпохи 1900.0 с юлианским днем JD_f = 2415020.3134 [15]:

$$T_{tp}(T) = k_{jt}\,[T + (JD_0 - JD_f)/36525], \quad (5п),$$

где k_{jt} = 36525/36524.22; T – в юлианских столетиях от эпохи JD_0.

Угловые скорости вращения экватора p и p_1 взяты с обратными знаками, т.к. они вращаются по часовой стрелке. Угловые скорости p_1, p и π_ε в выражениях (2п) - (4п) имеют размерность ″/год. Интегрируя эти скорости при нулевых значениях углов в эпоху JD_S, к которой относится система координат, получаем выражения для соответствующих углов в радианах:

$$\psi(T) = \gamma_0\gamma_1(T) = -\{[5037''.084\cdot[T_{tp}(T) - T_{st}] + 0.5\cdot 0''.493\,[(T_{tp}(T))^2 - T_{st}^2]\}/k_{rd}; \quad (6п)$$

$$\gamma_2\gamma(T) = -\{[5025''.641\cdot[T_{tp}(T) - T_{st}] + 0.5\cdot 2''.223\cdot[(T_{tp}(T))^2 - T_{st}^2]\}/k_{rd}; \quad (7п)$$

$$i_{e0}(T) = 100\,\{0''.47107\cdot[T_{tp}(T) - T_{st}] - 0.5\cdot 0''.00068\cdot[(T_{tp}(T))^2 - T_{st}^2]\}/k_{rd}, \quad (8п),$$

где T_{st} – время в тропических столетиях от эпохи JD_S до начальной эпохи JD_0: $T_{st} = T_{tp}(T_s)$, где $T_s = (JD_s - JD_0)/36525$ – время в юлианских столетиях от начальной эпохи JD_0; k_{rd} = 3600·180/π.

Перемещение $\gamma_0\gamma_2$ плоскости эклиптики EE' (рис. 4) по неподвижному экватору A_0A_0' трудно определить из данных Ньюкомба, поэтому воспользуемся уточненными результатами наших решений орбитальной задачи [4]:

$$\gamma_0\gamma_2(T_{sd}) = a_q\cdot(T_{sd} - \Delta T_c)^2 + b_q\cdot(T_{sd} - \Delta T_c) + c_q, \quad (9п),$$

где a_q = 2.376361216684775·10^{-6}; b_q = 4.788549396485488·10^{-5}; c_q = -2.325022430798324·10^{-5};

$T_{sd} = T\cdot k_{js}$ – время в сидерических столетиях по 36525.636042 дней в 1 столетии от эпохи JD_0;

k_{js} = 365.25/365.25636042;

ΔT_c = 0.02567575 – время коррекции, введенное для того, чтобы в эпоху JD_S всходящие узлы γ_0 и γ_2 совпадали, т.е. $\gamma_0\gamma_2(T_s) = 0$.

В треугольнике $\gamma_0\gamma_2N$ на рис. 4 известны три элемента: дуга $\gamma_0\gamma_2$ и два угла: i_{e0} и $\angle\gamma_0 = \varepsilon_0$. По теореме синусов sin i_{e0}/sin $\gamma_0\gamma_2$ = sin ε_0/sin γ_2N находим дугу γ_2N через функцию arcsin x. Эта функция дает два значения: x и $\pi - x$. В астрономии эволюцию плоскости эклиптики рассматривают как вращение относительно мгновенной оси, которая лежит в ее плоскости и проходит через точку K. Она находится вблизи т. N (на рис. 4 не показана) и имеет долготу $\Pi = \gamma K$ = 173°57′03″ [15]. Поэтому для arcsin x выбираем второе значение $\pi - x$. Тогда для дуги γ_2N получаем выражение:

$$\gamma_2N = \pi - \arcsin[(\sin\gamma_0\gamma_2\cdot\sin\varepsilon_0)/\sin i_{e0}]. \quad (10п)$$

С целью упрощения выражений, здесь и далее, не показываем зависимость величин от времени T. Теперь можем (см. рис. 4) определить дугу

$$\gamma N = \gamma_2N - \gamma_2\gamma, \quad (11п)$$

где дуга $\gamma_2\gamma$ определяется формулой (7п).

В треугольнике $\gamma N \gamma_1$ (рис. 4) известны два угла: $\angle\gamma = (\pi - \varepsilon)$ и i_{e0} и сторона γN. По теореме косинусов находим угол θ

$$\theta = \arccos[-\cos(\pi - \varepsilon)\cdot\cos i_{e0} + \sin(\pi - \varepsilon)\cdot\sin i_{e0}\cdot\cos \gamma N)]. \quad (12п)$$

Так как все величины, в том числе θ и ψ, являются функциями T, то производные этих величин в эпоху T могут быть рассчитаны так:

$$\dot{\psi} = (1/k_{js})\cdot[\psi(T + \Delta T) - \psi(T - \Delta T)]/2\cdot\Delta T; \quad (13п)$$

$$\dot{\theta} = (1/k_{js})\cdot[\theta(T + \Delta T) - \theta(T - \Delta T)]/2\cdot\Delta T, \quad (14п),$$

где $\Delta T = 0.001$ столетия; время T отсчитывается в сидерических столетиях.

В табл. 1 приведены начальные значения углов и скоростей, рассчитанные по выражениям (13п) - (14п) при $\Delta T = 0.001$ столетия в эпоху JD_0, т.е. при $T = 0$. При уменьшении ΔT в десять раз $\dot{\psi}$ меняется в 13 знаке, а $\dot{\theta}$ – в седьмом. Отметим, что производная от угла прецессии, определенная согласно (2п) $\dot{\psi} = 100\cdot p_1/k_{js} = -2.4422092576843\cdot10^{-2}$ 1/ст отличается в шестом знаке. Все это свидетельствует о достаточной степени точности определения производных.

1.3. Начальные условия по Дж. Симону и др. В работе Дж. Симона и др. [25, С. 677] приводятся элементы орбит планет в динамической эклиптике и равноденствии текущей даты в зависимости от времени в юлианских тысячелетиях, отсчитываемого от эпохи JD_S. Эти выражения для Земли [25, С. 664] при отсчете времени от эпохи JD_0 запишутся так:

$$\varepsilon_{Si} = 23^\circ26'21''.412 - 468''.0927\,(T_k + T_{k0}) - 0''.0152\,(T_k + T_{k0})^2 + 1''.9989\,(T_k + T_{k0})^3 - 0''.0051\,(T_k + T_{k0})^4 - 0''.0025\,(T_k + T_{k0})^5; \quad (15п)$$

$$\gamma_2\gamma_{Si} = P = -[50288''.200\,(T_k + T_{k0}) + 111''.2022\,(T_k + T_{k0})^2 + 0''.0773\,(T_k + T_{k0})^3 - 0''.2353\,(T_k + T_{k0})^4 - 0''.0018\,(T_k + T_{k0})^5 + 0''.0002\,(T_k + T_{k0})^6], \quad (16п),$$

где T_k – время в юлианских тысячелетиях от эпохи JD_0, а $T_{k0} = -0.050005475701574$ – время эпохи JD_S от эпохи JD_0; буквы Si в индексе свидетельствуют о происхождении данных из работы Дж. Симона и др.

В работе [25, С. 675] приводится также долгота восходящего узла подвижной орбиты Земли (рис. 4) $\gamma_0 N_{Si}$ и скорость изменения угла ее наклона di_{e0}/dt относительно неподвижной эклиптики $E_0E'_0$. После интегрирования скорости di_{e0}/dt мы получили выражение для угла i_{e0Si}. Приведем эти выражения:

$$\gamma_0 N_{Si} = \Omega = 174^\circ87317577 - [8679''.27034\,(T_k + T_{k0}) - 15''.34191\,(T_k + T_{k0})^2 - 0''.00532\,(T_k + T_{k0})^3 + 0''.03734\,(T_k + T_{k0})^4 + 0''.00073\,(T_k + T_{k0})^5 - 0''.00004\,(T_k + T_{k0})^6]; \quad (17п)$$

$$i_{e0Si} = \{469''.97289\,(T_k + T_{k0}) - 3''.35053\,(T_k + T_{k0})^2 - 0''.12374\,(T_k + T_{k0})^3 + 0''.00027\,(T_k + T_{k0})^4 - 0''.00001\,(T_k + T_{k0})^5 + 0''.00001\,(T_k + T_{k0})^6\}. \quad (18п)$$

В треугольнике $\gamma_0\gamma_2 N$ (рис. 4) известны два угла: ε_0 и i_{e0} и дуга $\gamma_0 N$ между ними. По теореме косинусов находим противоположный угол

$$\angle\gamma_{2Si} = \arccos[-\cos\varepsilon_{0Si}\cdot\cos i_{e0Si} + \sin\varepsilon_{0Si}\cdot\sin i_{e0Si}\cdot\cos\gamma_0 N_{Si}], \quad (19п),$$

где ε_{0Si} – наклон подвижного экватора к подвижной эклиптике в эпоху JD_s; определяется (15п) при $T_k = -T_{k0}$.

Из этого же треугольника по теореме синусов находим сторону

$$\gamma_2 N_{Si} = \pi - \arcsin[(\sin\gamma_0 N_{Si}\cdot\sin\varepsilon_{0Si})/\sin\gamma_{2Si}], \quad (20п)$$

Так как функция $\alpha = \arcsin A$ при $A > 0$ имеет два значения: α и $\pi - \alpha$, то в выражении (20п) выбрано второе значение. Оно обусловлено ситуацией на рис. 4: дуга $\gamma_0 N_{Si} \approx \pi$, согласно формулы (17п).

В соответствии с рис. 4 дуга γN может быть определена так:

$$\gamma N_{Si} = \gamma_2 N_{Si} - \gamma_2 \gamma_{Si}. \quad (21п)$$

Тогда в треугольнике $\gamma_1 \gamma N$ известны два угла $\angle\gamma = \pi - \varepsilon$ и i_{e0}, и сторона между ними. По теореме косинусов находим противоположный угол

$$\theta_{Si} = \arccos [-\cos (\pi - \varepsilon_{Si}) \cdot \cos i_{e0Si} + \sin (\pi - \varepsilon_{Si}) \cdot \sin i_{e0Si} \cdot \cos \gamma N_{Si}]. \quad (22п)$$

Из треугольника $\gamma_1 \gamma N$ по теореме синусов определяем дугу

$$\gamma_1 N_{Si} = \pi - \arcsin [(\sin (\pi - \varepsilon_{Si}) \cdot \sin \gamma N_{Si}) / \sin \theta_{Si}]. \quad (23п)$$

В этом выражении также выбрано второе значение arcsin. Тогда согласно рис. 4 угол прецессии будет:

$$\psi_{Si} = \gamma_0 \gamma_1 = \gamma_0 N_{Si} - \gamma_1 N_{Si}. \quad (24п)$$

Параметры, определяемые формулами (15п) - (24п) зависят от времени T_k в юлианских тысячелетиях от эпохи JD_0. Поэтому производные от углов прецессий ψ_{Si} и наклона θ_{Si} можем вычислить по формулам (13п) - (14п), но функции $\psi_{Si}(T_k)$ и $\theta_{Si}(T_k)$·определять через промежуток времени $\Delta T_k = 0.1 \cdot \Delta T$.

Таблица 1п. *Начальные условия на эпоху JD_0 по разным источникам: Ncmb [23]; Sim [25]; углы – в радианах, угловые скорости – в рад/сид. столетие.*

Исто-чник	ψ	θ	$\dot{\psi}$	$\dot{\theta}$	$\varepsilon(T_0)$
Ncmb	0.012212730552039	0.409092667186117	-2.4422614127533·10^{-2}	-2.28396865141963·10^{-7}	0.4092062055476293
Sim	0.012193381 24895	0.409092696300943	-2.4388200586794·10^{-2}	-2.75742706398377·10^{-7}	0.4092061095921452

В строке Sim табл. 1п приведены рассчитанные по этим выражениям начальные значения углов и скоростей. Из сравнения начальных условий по С. Ньюкомбу и Дж. Симону и др. видно, что величины ψ, $\dot{\psi}$ и $\dot{\theta}$ отличаются в третьей значащей цифре, а θ – в седьмой. Угол наклона между экватором и эклиптикой ε на эпоху JD_0 также отличается в 7 знаке.

Параметры ε и θ являются углами треугольника $\gamma_1 \gamma N$ (рис. 4). Были также сопоставлены другие элементы $\gamma_1 \gamma N$. Как видно из таблицы 2п, они отличаются в четвертом знаке. По-видимому, отличия этих элементов и дают разности в третьем знаке параметров ψ, $\dot{\psi}$ и $\dot{\theta}$. В связи с тем, что параметры Дж. Симона и др. [25] получены сравнительно недавно, будем использовать начальные условия, вытекающие из них.

Таблица 2п. *Сравнение других параметров треугольника $\gamma_1\gamma N$ (рис. 4), полученных по данным С. Ньюкомба [23] и Дж. Симона и др. [25]*

Источник	i_{e0}	γN
Ncmb	$-1.1408\cdot10^{-4}$	3.044
Sim	$-1.1398\cdot10^{-4}$	3.042

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ПЕРЕХОД ОТ ПАРАМЕТРОВ ОСИ ЗЕМЛИ ψ И θ ОТНОСИТЕЛЬНО НЕПОДВИЖНОЙ ЭКЛИПТИКИ К ПАРАМЕТРАМ ε И $\varphi_{p\gamma}$ ОТНОСИТЕЛЬНО ПОДВИЖНОЙ ЭКЛИПТИКИ

2.1. Сферические координаты. После интегрирования дифференциальных уравнений вращательного движения Земли (4) - (5) получаем угол прецессии ψ и наклона θ подвижной плоскости экватора AA' относительно неподвижной эклиптики $E_0E'_0$ (см. рис. 4). Необходимо перейти к параметрам относительно подвижной эклиптики EE': к углу наклона ε подвижного экватора и углу перигелия $\varphi_{p\gamma} = \gamma B$.

В треугольнике $\gamma_1\gamma N$ (рис. 4) известен угол θ и могут быть определены угол i_{e0} и дуга $\gamma_1 N$. Тогда угол наклона подвижного экватора к подвижной эклиптике по теореме косинусов определяется в виде:

$$\varepsilon = \pi - \arccos\left[-\cos\theta\cdot\cos i_{e0} + \sin\theta\cdot\sin i_{e0}\cdot\cos\gamma_1 N\right]. \qquad (25п)$$

Из другого треугольника $\gamma_0\gamma_2 N$ по этой же теореме угол наклона между подвижной и неподвижной эклиптиками равен

$$i_{e0} = \arccos\left[-\cos\varepsilon_0\cdot\cos(\pi - i_E) + \sin\varepsilon_0\cdot\sin(\pi - i_E)\cdot\cos\varphi_\Omega\right]. \qquad (26п)$$

Дуга $\gamma_1 N$ через долготу $\Omega = \gamma_0 N$ восходящего узла плоскости подвижной эклиптики EE' определяется так:

$$\gamma_1 N = \Omega - \psi; \qquad (27п),$$

где долгота по теореме синусов для треугольника $\gamma_0\gamma_2 N$ запишется в виде:

$$\Omega = \gamma_0 N = \arcsin\left[\sin\varphi_\Omega \sin(\pi - i_E)/\sin i_{e0}\right]; \quad \text{при } i_E < \varepsilon_0 \quad \Omega' = \pi - \Omega; \qquad (28п)$$

В выражении (28п) учтено условие: когда $i_E < \varepsilon_0$, то принимается новое значение угла Ω'. Здесь ε_0 – угол наклона между неподвижными экватором и эклиптикой. Углы i_E, φ_Ω и используемый ниже φ_p являются углами наклона, долготы восходящего узла подвижной плоскости орбиты Земли и перигелия ее орбиты, соответственно. Эволюция этих углов получены по нашим численным решениям орбитальной задачи за 100 м.л.н. [4, 30] с помощью программы Galactica [27].

Дуга перигелия $\varphi_{p\gamma} = \gamma B$ в подвижной эклиптике (см. рис. 4) вычисляется так:

$$\varphi_{p\gamma} = \varphi_p - \gamma_2\gamma, \qquad (29п)$$

где дуга $\gamma_2\gamma$ и входящие в нее дуги определяются по формулам:

$$\gamma_2\gamma = \gamma_2 N - \gamma N; \qquad (30п)$$

$$\gamma_2 N = \arcsin\left[\sin\varphi_\Omega\cdot\sin\varepsilon_0/\sin i_{e0}\right]; \quad \text{при } i_E < \varepsilon_0 \quad \gamma_2 N' = \pi - \gamma_2 N; \qquad (31п)$$

$$\gamma N = \arcsin\left[\sin\gamma_1 N\cdot\sin\theta/\sin(\pi - \varepsilon)\right]; \quad \text{при } i_E < \varepsilon_0 \quad \gamma N' = \pi - \gamma N, \qquad (32п)$$

где $\gamma_2 N'$ и $\gamma N'$ – новые значения $\gamma_2 N$ и γN, соответственно.

2.2. Декартовые координаты. При рассмотрении задачи за большие промежутки времени угловые параметры орбиты и плоскости экватора изменяются настолько, что значения обратных тригонометрических функций в силу их неоднозначности переходят от одного значения к другому. Поэтому возникают множественные нарушения: скачки, разрывы и т.п., и их трудно предусмотреть и исключить. Поэтому переход к подвижным плоскостям экватора и эклиптики был осуществлен также в декартовых координатах.

Вместо плоскостей экватора и орбиты Земли рассматриваются проекции на декартовую систему координат единичных векторов осей вращения Земли $\vec{N}$ и орбиты Земли $\vec{S}$. На рис. 4 показаны: вектор $\vec{N}$, перпендикулярный плоскости подвижного экватора AA', и вектор $\vec{S}$, перпендикулярный плоскости подвижной орбиты Земли EE', а также вектора $\vec{N}_0$ и $\vec{S}_0$, перпендикулярные плоскостям A_0A_0' и E_0E_0' соответственно, положение которых в эпоху JD_S связано с неподвижной системой отсчета.

Угол ε (см. рис. 4) между векторами $\vec{N}$ и $\vec{S}$ в декартовых координатах обозначим как ε_d. Он определяется через их скалярное произведение следующим образом:

$$\varepsilon_d = \arccos (N_{xe}\cdot S_{xe} + N_{ye}\cdot S_{ye} + N_{ze}\cdot S_{ze}), \quad (33п),$$

где проекции векторов $\vec{N}$ и $\vec{S}$ на оси неподвижных эклиптической $x_ey_ez_e$ и экваториальной xyz систем координат вычисляются по формулам:

$$N_{xe} = -\sin\theta\cdot\sin\psi; \quad (34п)$$

$$N_{ye} = \sin\theta\cdot\cos\psi; \quad (35п)$$

$$N_{ze} = \cos\theta; \quad (36п)$$

$$S_{xe} = S_x; \quad (37п)$$

$$S_{ye} = S_y\cdot\cos\varepsilon_0 + S_z\sin\varepsilon_0; \quad (38п)$$

$$S_{ze} = -S_y\cdot\sin\varepsilon_0 + S_z\cos\varepsilon_0; \quad (39п)$$

$$S_x = \sin i_E\cdot\sin\varphi_\Omega; \quad (40п)$$

$$S_y = -\sin i_E\cdot\cos\varphi_\Omega; \quad (41п)$$

$$S_z = \cos i_E. \quad (42п).$$

Угол перигелия в декартовых координатах обозначим $\varphi_{p\gamma d}$ (см. рис. 4). Он вычисляется так:

$$\varphi_{p\gamma d} = \varphi_p - \gamma_2\gamma'', \quad (43п),$$

где штрихами обозначена вторая коррекция $\gamma_2\gamma''$ угла $\gamma_2\gamma$. Она определяется с помощью ряда условий.

Вначале рассчитывается дуга $\gamma_2\gamma$, зависимость для которой на большом интервале времени имеет множество разрывов и изломов, по формуле:

$$\gamma_2\gamma = \arcsin(\sin(\gamma_2O\gamma)), \quad (44п),$$

где $\gamma_2O\gamma$ – центральный угол этой дуги (рис. 4).

Далее введены центральные углы $\beta = NO\gamma_0$, $\beta_2 = NO\gamma$ и $\beta_3 = NO\gamma_2$ (на рис. 4 не показаны), которые координируют положение осей $\vec{N}$ и $\vec{N}_0$ относительно NO, линии пересечения плоскостей E_0E_0' и EE'. Ниже приведены тригонометрические функции этих углов в зависимости от проекций $\vec{N}$ и $\vec{S}$ на декартовые оси координат. Тригонометрические функции угла $\gamma_2O\gamma = \beta_3 - \beta_2$ равны:

$$\sin(\gamma_2 O\gamma) = \sin\beta_3 \cdot \cos\beta_2 - \sin\beta_2 \cdot \cos\beta_3; \quad (45п)$$

$$\cos(\gamma_2 O\gamma) = \cos\beta_3 \cdot \cos\beta_2 + \sin\beta_3 \cdot \sin\beta_2. \quad (46п).$$

Перпендикулярно NO в плоскости E_0E_0' проведена линия OL, а в плоскости EE' – линия OL_1 (на рис. 4 не показаны). Тригонометрические функции для углов β_2 и β_3 через проекции $\vec{N}$ и $\vec{N}_0$ на эти линии запишутся так:

$$\sin\beta_2 = N_{ON}/(N_{ON}^2 + N_{OL1}^2)^{0.5}; \quad \cos\beta_2 = -N_{OL1}/(N_{ON}^2 + N_{OL1}^2)^{0.5}; \quad (47п)$$

$$\sin\beta_3 = N_{0ON}/(N_{0ON}^2 + N_{0OL1}^2)^{0.5}; \quad \cos\beta_3 = -N_{0OL1}/(N_{0ON}^2 + N_{0OL1}^2)^{0.5}, \quad (48п)$$

где проекции векторов $\vec{N}$ и $\vec{N}_0$ рассчитываются так:

$$N_{ON} = N_{xe} \cdot \cos\beta + N_{ye} \cdot \sin\beta; \quad (49п)$$

$$N_{OL} = N_{xe} \cdot \sin\beta - N_{ye} \cdot \cos\beta; \quad (50п)$$

$$N_{OL1} = N_{OL} \cdot \cos i_{e0} - N_{ze} \cdot \sin i_{e0}; \quad (51п)$$

$$N_{0xe} = 0; \quad N_{0ye} = \sin\varepsilon_0; \quad N_{0ze} = \cos\varepsilon_0; \quad (52п)$$

$$N_{0OL} = N_{0xe} \cdot \sin\beta - N_{0ye} \cdot \cos\beta; \quad (53п)$$

$$N_{0ON} = N_{0xe} \cdot \cos\beta + N_{0ye} \cdot \sin\beta; \quad (54п)$$

$$N_{0OL1} = N_{0OL} \cdot \cos i_{e0d} - N_{0ze} \cdot \sin i_{e0d}, \quad (55п)$$

где

$$i_{e0d} = \arccos(S_{ze}). \quad (56п)$$

В этих выражениях функции угла β определяются проекциями оси орбиты $\vec{S}$ по формулам:

$$\sin\beta = S_{xe}/(S_{xe}^2 + S_{ye}^2)^{0.5}; \quad \cos\beta = -S_{ye}/(S_{xe}^2 + S_{ye}^2)^{0.5}. \quad (57п)$$

Чтобы в зависимости (30п) ликвидировать изломы дуги $\gamma_2\gamma$, используется условие:

$$\gamma_2\gamma' = \pi - \gamma_2\gamma \quad \text{при } \cos(\gamma_2 O\gamma) > 0. \quad (58п)$$

В зависимости для дуги $\gamma_2\gamma'$ по времени существуют скачки дуги на величину $\sim 2\pi$. Так как все используемые величины получены численным интегрированием и представлены в виде рядов с шагом по времени ΔT_e, то можно найти разности дуги $\gamma_2\gamma'$ между соседними моментами по времени T_i и T_{i-1}:

$$\Delta\gamma_2\gamma_i = \gamma_2\gamma'_i - \gamma_2\gamma'_{i-1}. \quad (59п)$$

Основные значения разности находятся вблизи некоторого уровня, например, равной 0.05 при интервале между точками $\Delta T_e = 2$ столетия, а в моменты скачков дуги $\gamma\gamma_2$ величина $\Delta\gamma_2\gamma_i$ достигает значения 2π. Среднее значение модуля $\Delta\gamma_2\gamma_i$ равно

$$\Delta\gamma_2\gamma_m = \sum_{i=1}^{N_4} |\Delta\gamma_2\gamma_i| / N_4, \quad (60п)$$

где $i = 1,.2,..,\ N_4$, а N_4 – общее количество точек.

С целью устранения скачков на величину 2π выполняется операция

при $|\Delta\gamma_2\gamma_i| > 2 \cdot \Delta\gamma_2\gamma_m$ $\Delta\gamma_2\gamma'_i = \Delta\gamma_2\gamma_i - 2\pi$ для $T > 0$ и $\Delta\gamma_2\gamma'_i = \Delta\gamma_2\gamma_i + 2\pi$ для $T < 0$, (61п)

в остальных случаях $\Delta\gamma_2\gamma'_i = \Delta\gamma_2\gamma_i$.

После этого рассчитывается новое значение дуги $\gamma_2\gamma$:

$$\gamma_2\gamma''_i = \gamma_2\gamma''_{i-1} + \Delta\gamma_2\gamma'_i, \quad \text{где } \gamma_2\gamma''_1 = \gamma_2\gamma'_1, \quad (62п)$$

в результате чего $\gamma_2\gamma''$ становится непрерывной функцией времени. Тогда угол перигелия от подвижного узла γ в виде непрерывной функции по времени в декартовых координатах полностью определяется выражением (43п).

Следует отметить, что этот геометрический метод расчета астрономических параметров экватора и эклиптики, по-видимому, ранее не применялся. Он позволяет получить непрерывные зависимости во времени искомых характеристик, которые обычными методами сферической геометрии получить затруднительно. Этот метод позволил также устранить неопределенности при выводе преобразований в сферических координатах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крутько П.Д., Максимов А.И., Скворцов Л.М. Алгоритмы и программы проектирования автоматических систем. – М.: Радио и связь, 1989. – 306 с.

2. Лаплас П.С. Изложение системы мира. – М.: Наука, 1982. – 376 с.

3. Мельников В.П., Смульский И.И., Смульский Я.И. Составная модель вращения Земли и возможный механизм взаимодействия континентов // Геология и Геофизика. – 2008. – № 11. – С. 1129-1138. – URL: http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/RGGRu190.pdf.

4. Мельников В.П., Смульский И.И. Астрономическая теория ледниковых периодов: Новые приближения. Решенные и нерешенные проблемы. – Новосибирск: Академическое изд-во "Гео", 2009. – 98 с. – URL: http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/AsThAnR.pdf.

5. Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. – М.-Л.: ГОНТИ, 1939. – 207 с.

6. Сидоренков Н.С. Нестабильности вращения Земли // Вестник Российской Академии Наук. – 2004. – № 8. – С. 701-709.

7. Смульский И.И. Теория взаимодействия. – Новосибирск: Из-во Новосиб. ун-та, НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1999. – 294 с. – URL: http://www.ikz.ru/~smulski/TVfulA5_2.pdf.

8. Смульский И.И. Новая геометрия эволюции орбит // Proceeding of Joint International Scientific Conference "New Geometry of Nature (August 25 - September 5, 2003). – Kazan State University, 2003. – С. 192-195. –
URL: http://www.ikz.ru/~smulski/smul1/Russian1/IntSunSyst/NeGeEv2.doc.

9. Смульский И.И. Математическая модель Солнечной системы / В сб. Теоретические и прикладные задачи нелинейного анализа. Российская Академия Наук: ВЦ им. А.А. Дородницына. – М.: ВЦ РАН А.А. Дородницына, 2007. – С. 119-138. – URL:
http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/MatMdSS5.pdf.

10. Смульский И.И. Актуальные математические задачи и тернистые пути науки // Путь науки. Международный научный журнал. – 2015. – № 10 (20). – С. 10-38. –
URL: http://scienceway.ru/arhiv.

11. Смульский И.И. Новые результаты по инсоляции Земли и их корреляция с палеоклиматом Западной Сибири в позднем плейстоцене // Геология и Геофизика. – 2016. – Т. 57, № 7. – С. 1393-1407. – URL: http://dx.doi.org/10.15372/GiG20160709.

12. Смульский И.И. Эволюция оси Земли и палеоклимата за 200 тысяч лет. – Saarbrucken, Germany: “LAP Lambert Academic Publishing”. – 2016. – 228 с. – ISBN 978-3-659-95633-1. – URL: http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/InfEvEAPC02M.pdf.

13. Смульский И.И. Новая Астрономическая теория ледниковых периодов. – “LAP LAMBERT Academic Publishing, Riga, Latvia, 2018. – 132 с. – ISBN 978-613-9-86853-7. – URL: https://www.lap-publishing.com/catalog/details//store/gb/book/978-613-9-86853-7/Новая-Астрономическая-теория.

14. Смульский И.И., Сеченов К.Е. Уравнения вращательного движения Земли и их решения при воздействии Солнца и планет / Институт криосферы Земли СО РАН. – Тюмень. – 2007. – 35 с. Деп. в ВИНИТИ 02.05.07 г. № 492-В2007. – URL: http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/UVrVzSPc.pdf.

15. Справочное руководство по небесной механике и астродинамике / Под ред. Г. Н. Дубошина. – Изд. 2-е, доп. и перераб. – М.: Наука, 1976. – 862 с.

16. Труды ИПА РАН. Эфемеридная астрономия. – Санкт-Петербург: ИПА РАН, 2004. – Вып. 10. – 488 с.

17. Хайрер Э., Нёрсетт С.П., Ваннер Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. – М.: Мир, 1990. – 513 с.

18. Шараф Ш.Г., Будникова Н.А. Вековые изменения элементов орбиты Земли и астрономическая теория колебаний климата // Тр. Инст. теоретич. астрономии. – Л.: Наука. –1969. – Вып. XIV. – С. 48-109.

19. Bretagnon P., Rocher P. and Simon J.L. Theory of the rotation of the rigid Earth // Astron. Astrophys. – 1997. – Vol. 319. – P. 305-317.

20. Bretagnon P., Simon J.L. Towards the construction of a new precession-nutation theory of nonrigid Earth // Celest. Mech & Dyn. Astr. – 2001. – Vol. 80. – P. 177-184.

21. Laskar J., Robutel P., Joutel F., Gastineau M., Correia A.C.M., Levrard B. A Long-term numerical solution for the insolation quantities of the Earth // Astron. and Astrophys. – 2004. – Vol. 428. – P. 261-285.

22. Mathews P.M., Bretagnon P. Polar motions equivalent to high frequency nutations for a nonrigid Earth with anelastic mantle // Astronomy & Astrophysics. – 2003. – Vol. 400. – P. 1113-1128.

23. Newcomb S. The elements of the four inner planets and the fundamental constants of astronomy. – Washington: Government printing office, 1895. – 202 p.

24. Quinn T. R., Tremaine S., Duncan M. A three million year integration of the Earth's orbit // Astronomical Journal. – 1991. – Vol. 101. – P. 2287-2305.

25. Simon J.L., Bretagnon P., Chapront J., Chapront-Touze M., Francou G., & Laskar J. Numerical Expression for Precession Formulae and Mean Elements for the Moon and the Planets // Astron. and Astrophys. – 1994. – Vol. 282. – P. 663-683.

26. Smulsky J.J. The Influence of the Planets, Sun and Moon on the Evolution of the Earth's Axis // International Journal of Astronomy and Astrophysics. – 2011. – No. 1. – 117-134. – URL: http://dx.doi.org/10.4236/ijaa.2011.13017.

27. Smulsky J.J. Galactica Software for Solving Gravitational Interaction Problems // Applied Physics Research. – 2012. – Vol. 4, No. 2. – P. 110-123. URL: http://dx.doi.org/10.5539/apr.v4n2p110.

28. Smulsky J.J. Fundamental Principles and Results of a New Astronomic Theory of Climate Change // Advances in Astrophysics. – 2016. – Vol. 1, No. 1. – P. 1-21. – URL: http://www.isaacpub.org, http://www.isaacpub.org/Journal/AdAp.

29. Smulsky J.J. Future Space Problems and Their Solutions. – Nova Science Publishers, New York, 2018. – 269 p. – ISBN: 978-1-53613-739-2. – URL: https://novapublishers.com/shop/future-space-problems-and-their-solution.

30. Smulsky J.J., Smulsky Ya.J. Dynamic Problems of the Planets and Asteroids, and Their Discussion // International Journal of Astronomy and Astrophysics. – 2012. – No. 2. – P. 129-155. – URL: http://dx.doi.org/10.4236/ijaa.2012.23018.

THE EVOLUTION OF THE EARTH'S ROTATIONAL MOVEMENT FOR MILLION YEARS

Smulsky J.J. (Dr. Sci. (Physics and Mathematics), prof.)

Institute of Earth's Cryosphere, Tyumen, Russian Federation

jsmulsky@mail.ru

Abstract. There are the main points of the derivation of the differential equations of the Earth's rotational motion. The periods of oscillation of the Earth's axis are grounded by the angular momentum theorem. The constants of the equations, the initial conditions, and the theory of their computations are discussed. The results of integrating the equations over time intervals from 0.1 year to 1 million years are

considered. The theory of solutions transformation to the mobile plane of the Earth's orbit is considered for millions of years, and the solution results are presented at different time intervals from 100 years to 20 million years. The evolution of the Earth's axis is analyzed. It is established that the Earth's axis precesses with respect to a fixed direction in space, which differs from the direction of the precession of planetary orbits. Physical explanations of the received oscillations of the Earth's axis from 14.68° to 32.68° are given. The oscillations of the Earth's rotation period are shown. Evidence of the reliability of the solutions obtained is presented. The work is of interest to a wide range of researchers in the fields of astronomy, paleoclimate and geophysics.

Keywords: differential equations, Earth rotation, precession, oscillations, evolution, periods, causes, Moon, Sun, planets.

REFERENCES

1. Krutko P. D., Maksimov A. I., Skvortsov L. M. Automated system engineering algorithms and programs. Moscow, Radio and Communication, 1989, 306 p. [In Russian].

2. Laplace P.S. Exposition du Système du Monde. Fayard, Paris, 1984, 376 p.

3. Melnikov V. P., Smulskii I. I. & Smul'skii Ya. I. Compound modeling of earth rotation and possible implications for interaction of continents. *Russian Geology and Geophysics*, 2008, no. 49, pp. 851-858.

4. Melnikov V. P., Smulsky J. J. Astronomical theory of ice ages: New approximations. Solutions and challenges. Novosibirsk, Academic Publishing House, 2009. URL: http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/AsThAnE.pdf.

5. Milankovich M. Mathematical climatology and the astronomical theory of climate change. Moscow, Gonti, 1939, 207 p. [In Russian].

6. Sidorenkov N.S. Earth rotation instabilities. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2004, no. 74 (8), pp. 701-709.

7. Smulsky J.J. The theory of interaction. Novosibirsk, Publishing house of Novosibirsk University, 1999, 294 p. [In Russian]. URL: http://www.ikz.ru/~smulski/TVfulA5_2.pdf.

8. Smulsky J.J. The New Geometry of Orbits Evolution. In: Proceeding of The Joint International Scientific Conference "New Geometry of Nature", August 25 - September 5, 2003, Kazan State University, 2003, pp. 192-195.

URL: http://www.ikz.ru/~smulski/smul1/Russian1/IntSunSyst/NeGeEv2.doc.

9. Smulsky J.J. A mathematical model of the solar system. In: The theoretical and applied tasks of the nonlinear analysis. Moscow, Russian Academy of Sciences, 2007, pp. 119-138. [In Russian]. URL: http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/MatMdSS5.pdf.

10. Smulsky J.J. Actual Mathematical Problems and Thorny Way of Science. *The Way of Science. International scientific journal*, 2015, no. 10 (20), pp. 10-38. URL: http://scienceway.ru/arhiv.

11. Smulsky J.J. New results on the Earth insolation and their correlation with the Late Pleistocene paleoclimate of West Siberia. *Russian Geology and Geophysics*, 2016, no. 57, pp. 1099-1110. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.rgg.2016.06.009.

12. Smulsky J.J. Evolution of the Earth's axis and paleoclimate for 200 thousands years. Saarbrucken, GR, LAP Lambert Academic Publishing, 2016, 228 p. [In Russian]. URL: http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/InfEvEAPC02MEn.pdf.

13. Smulsky J.J. New Astronomical Theory of Ice Ages. "LAP LAMBERT Academic Publishing", Riga, Latvia, 2018, 132 p. [In Russian]. ISBN 978-613-9-86853-7.
URL: http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/InfNwATLPEn.pdf.

14. Smulsky J.J., Sechenov K.E. Equations of the earth's rotational motion and their solutions with regard to action of the sun and the planets. 2007, 35 p. [In Russian], Deposited in VINITI 02.05.07, no. 492-V2007. URL: http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/UVrVzSPc.pdf.

15. Duboshin G. N. (Editor). Celestial Mechanics and Astrodynamics: A Handbook. Moscow, Nauka, 1976, 864 p. [In Russian].

16. Ephemeris Astronomy, Transactions. St. Petersburg: Institute of Applied Astronomy, 2004, no. 10, 488 p.

17. Hairer E., Nersett S. & Vanner G. Solving ordinary differential equations. Moscow, Mir, 1990, 513 p. [In Russian].

18. Sharaf Sh. G., Budnikova N.A.. Secular changes in the orbital elements of Earth and the astronomical theory of climate change. In: Trans. Inst. Theor. Astron., Issue XIV, L: Nauka, 1969, pp. 48-109. [In Russian].

19. Bretagnon P., Rocher P. and Simon J.L. Theory of the rotation of the rigid Earth. *Astronomy & Astrophysics*, 1997, vol. 319, pp. 305-317.

20. Bretagnon P., Simon J.L. Towards the construction of a new precession-nutation theory of nonrigid Earth. *Celest. Mech & Dyn. Astr*, 2001, vol. 80, pp. 177-184.

21. Laskar J., Robutel P., Joutel F., Gastineau M., Correia A.C.M., Levrard B. A Long-term numerical solution for the insolation quantities of the Earth. *Astron. and Astrophys*, 2004, vol. 428, pp. 261-285.

22. Mathews P.M., Bretagnon P. Polar motions equivalent to high frequency nutations for a nonrigid Earth with anelastic mantle. *Astronomy & Astrophysics*, 2003, vol. 400, pp. 1113-1128.

23. Newcomb S. The elements of the four inner planets and the fundamental constants of astronomy. Washington, Government printing office, 1895, 202 p.

24. Quinn T. R., Tremaine S., Duncan M. A three million year integration of the Earth's orbit. *Astronomical Journal*, 1991, vol. 101, pp. 2287-2305.

25. Simon J.L., Bretagnon P., Chapront J., Chapront-Touze M., Francou G., & Laskar J. Numerical Expression for Precession Formulae and Mean Elements for the Moon and the Planets. *Astron. and Astrophys*, 1994, vol. 282, pp. 663-683.

26. Smulsky J.J. The Influence of the Planets, Sun and Moon on the Evolution of the Earth's Axis. *International Journal of Astronomy and Astrophysics*, 2011, no. 1, pp. 117-134. URL: http://dx.doi.org/10.4236/ijaa.2011.13017.

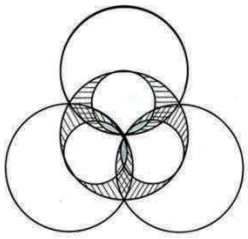
27. Smulsky J.J. Galactica Software for Solving Gravitational Interaction Problems. *Applied Physics Research*, 2012, vol. 4, no. 2, pp. 110-123. URL: http://dx.doi.org/10.5539/apr.v4n2p110.

28. Smulsky J.J. Fundamental Principles and Results of a New Astronomic Theory of Climate Change. *Advances in Astrophysics*, 2016, vol. 1, no. 1, pp. 1-21. URL: http://www.isaacpub.org, http://www.isaacpub.org/Journal/AdAp.

29. Smulsky J.J. Future Space Problems and Their Solutions. Nova Science Publishers, New York, 2018, 269 p., ISBN: 978-1-53613-739-2. URL: https://novapublishers.com/shop/future-space-problems-and-their-solution.

30. Smulsky J.J., Smulsky Ya.J. Dynamic Problems of the Planets and Asteroids, and Their Discussion. *International Journal of Astronomy and Astrophysics*, 2012, no. 2, pp. 129-155. URL: http://dx.doi.org/10.4236/ijaa.2012.23018.

УДК. 167.0 + 523.2



РАСЩЕПЛЕНИЕ РАЗРЕШЕННЫХ СОСТОЯНИЙ В СЛОЖНОЙ САМООРГАНИ ЗУЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЕ. ЧАСТЬ 3.

Смирнов В. Л. (к. ф.-м. н.)
Санкт-Петербург, РФ
VladimirL.Smirnov@yandex.ru

Аннотация. Рассматривается процесс приближения самоорганизующейся системы к эволюционной зрелости, что позволяет в приложении объяснить для четырёх планет Солнечной системы характеристики их орбит. Система не наделена спецификой природных объектов и трактуется как часть структуры, которая имеет границы. Структура, в свою очередь, представляется как совокупность отношений на числовой оси и понимается как сеть, состоящая из узлов – разрешенных состояний и связей между ними. Система формируется на основе развёртывания протоструктуры – двухкомпонентной и циклически организованной системы отношений, которая трактуется, как первичная и предназначена для поэтапного исследования эволюции природных систем. Эволюция понимается как развёртывание от этапа к этапу при учёте предыстории. Протоструктура задаёт спектр разрешенных состояний для n - параметра порядка системы, который подчиняет себе две относительные характеристики. В результате взаимодействия элементы указанного спектра расщепляются на компоненты и специализируются. В настоящей работе исходными данными служат результаты анализа предшествующего этапа эволюции, где рассмотрено расщепление десяти n-узлов в пределах одного изолированного цикла протоструктуры. Исследуются четыре n-узла, которые в результате детализации представляются с помощью приблизительно пятидесяти взаимодействующих на числовой оси позиций. Эти позиции размещаются на трёх уровнях иерархии: уровень позиций n, а также их расщеплений – уровень сдвигов n относительно исходных позиций – уровень малых изменений. Подробно рассматриваются межуровневые связи и уровень сдвигов, основой которого являются инварианты, сформированные на предыдущем этапе эволюции. Анализ структурных сценариев указывает на ключевую роль сдвигов на последнем этапе эволюции. Рассматривается критерий устойчивости конечных позиций n.

В приложении каждый элемент спектра n трактуется как относительный момент количества движения в Солнечной системе, если речь идёт о круговом движении. В противном случае любой элемент спектра расщепляется на компоненты, каждая из которых отвечает за подчинённое ей расстояние. Обсуждается эволюционная зрелость планетных расстояний и периодов обращения для Юпитера, Сатурна, Урана, и Нептуна. В среднем модельные позиции перигелиев, афелиев, больших и малых полуосей соответствуют наблюдаемым расстояниям в пределах $5*10^{-5}$ %. Впервые со структурных позиций показано, почему орбиты планет столь мало отличаются от круговых. Модельные периоды обращения в среднем соответствуют наблюдаемым в пределах $5*10^{-2}$%.

Ключевые слова: эволюция, структура, эволюционная зрелость, параметр порядка, планетные орбиты, периоды обращения планет

1. ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.

Характеристика ситуации и предыстория. В настоящей работе с позиций [14, 16] анализируются изменения в спектре параметра порядка n сложной самоорганизующейся системы на этапе эволюционной зрелости, что позволяет в приложении объяснить наблюдаемую структуру орбит Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна. Сейчас модельное представление указанной структуры [4, 13, 15] отсутствует. Работа является продолжением ранее выполненных [6-12] исследований.

Для изучения процессов эволюции [5] предложена протоструктура – двухкомпонентная циклически организованная система отношений. Структура трактуется [2] как сеть, состоящая из узлов – разрешенных состояний и связей между ними – правил, ответственных за устойчивость. Протоструктура интерпретируется как первичная (корневая) система отношений. С её помощью [6-12] на числовой оси моделируются различные этапы развёртывания параметра порядка n для системы, которая не наделена какой-либо спецификой природных объектов. Под системой понимается структура, имеющая границы. Близкий к началу отсчёта цикл одной из компонент протоструктуры с граничными узлами 1 и 10 выделен и содержит 10 узлов с индексом k=1 – 10. Система [6] в простом случае понимается как трёхуровневая, поскольку параметр порядка на n-уровне объединяет две подчинённые ему относительные характеристики, находящиеся на r-уровне и T-уровне. Набор узлов на любом из уровней иерархии трактуется [16] как спектр.

В приложении [6, 9, 11, 12] рассматривается формирование планетных орбит в Солнечной системе. В этом случае узлы k=1 – 4 представляют Меркурий – Марс, k=6 – Юпитер, k=7 – Сатурн, k=9 – Уран, k=10′ – Нептун и k=10 – Плутон. Узлы k=5 и k=8 из планетной системы [7] исключаются, а узел k=10′, напротив, [11] добавляется. Параметр порядка n трактуется в случае кругового движения как относительный момент количества движения, а при деформации орбит каждая из n-позиций расщепляется на компоненты и специализируется. Позиции r-уровня представляют расстояния, а T-уровня – периоды обращения. Эволюционная зрелость орбит Меркурия, Венеры, Земли, Марса и Плутона [12] рассмотрена. Модельные результаты согласуются с данными наблюдений по расстояниям в среднем в пределах $3*10^{-4}$%.

Задача работы заключается в том, чтобы представить эволюционно зрелую абстрактную систему на примере четырёх узлов (k=6, 7, 9 и 10′) цикла 1:10 протоструктуры. Мы намереваемся сформировать предельный структурный сценарий развёртывания узлов, ответственный за наилучшее согласование позиций и максимальную устойчивость системы при имеющихся исходных условиях и принятых допущениях. Нас интересуют также универсальные связи отношений, которые одновременно задают различные позиции и соответственно интерпретируются дополнительным образом. В приложении цель работы – показать, как формируются эволюционно зрелые орбиты Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна, а также периоды обращения названных планет.

Предлагаемое решение. Узлы ранее полученного спектра n, в частности эволюционно зрелые узлы k=1 – 4 и 10 рассматриваются как исходные данные, на основе которых формируются конечные результаты. В пределах уровня n вводятся дополнительные уровни иерархии, т.е. система детализируется; на этих уровнях располагаются сдвиги n-позиций, а также другие малые отношения. Рассматриваются схемы, позволяющие установить связи между указанными позициями и тем самым навести

соответствующий порядок. Результат конечной группировки n-позиций проверяется на устойчивость при помощи критерия.

2. ПРОТОСТРУКТУРА И ПАРАМЕТР ПОРЯДКА.

Протоструктура [5] состоит из двух циклических компонент, размещённых на числовой оси. Цикл одной из компонент, которая именуется жесткой (ЖК) и участвует в проводимом анализе, представлен на рис. 1a.

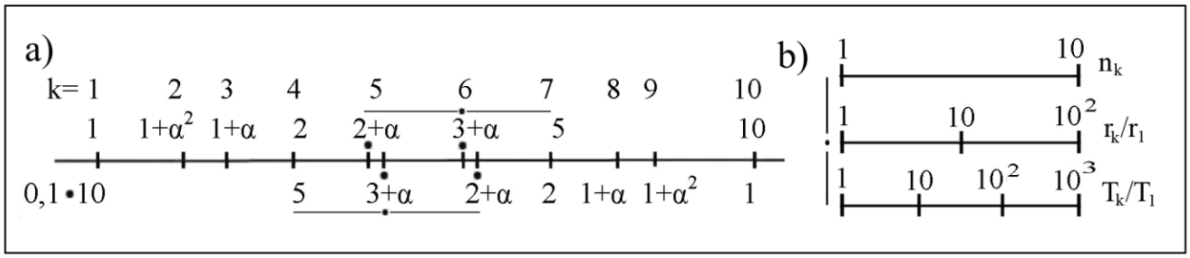


Рис. 1. *Протоструктура [5] и параметр порядка [6]: a) цикл жесткой компоненты (ЖК) протоструктуры, k – порядковый номер узла в цикле, $\alpha^{-1} \equiv 1+\alpha=1{,}618033\ldots$- золотое сечение; b) один цикл параметра порядка n_k , включающий два и три цикла первичных характеристик r_k/r_1 и T_k/T_1 соответственно; детали циклов опущены.*

Он состоит из десяти узлов, помеченных индексом k, узлы читаются симметричным образом от границ цикла слева направо (над осью) и справа налево (под осью), часть узлов с каждой из сторон не обозначена, узлы k=5 и k=6 расщеплены при $\Delta=1+\alpha^6=1{,}055728$. Позиции узлов над и под осью дополнительны, т.е., если над осью *a*, то под осью *1/a*. Здесь $\alpha^{-1} \equiv 1+\alpha \equiv (\sqrt{5}+1)/2 = 1{,}618033...$ - золотое сечение.

Параметр порядка [6] формируется согласно рис. 1b при объединении трёх циклов первичной характеристики T_k/T_1 и двух циклов также первичной характеристики r_k/r_1 в пределах одного цикла вторичной характеристики n_k, которая трактуется как параметр порядка структуры. При этом циклы задаются ЖК, и на границах циклов имеет место связь $B^2=AC$, которая распространяется на все k-узлы:

$$r_k=n_k^2 r_1=n_k^2 \alpha^2 r_3; \qquad n_k=\left(\frac{r_K}{r_1}\right)^2\frac{T_1}{T_k}=\left(\frac{r_k}{r_3}\right)^2\frac{T_3}{T_k}(1+\alpha);$$

$$T_k = n_k^3 T_1 = n_k^3\,\alpha^3 T_3; \qquad \frac{r_3}{r_1}=\left(\frac{n_3}{n_1}\right)^2=(1+\alpha)^2=\alpha^{-2}; \qquad \frac{T_3}{T_1}=\alpha^{-3} \qquad (1)$$

Здесь нормировка r_k и T_k представлена в двух вариантах, из которых далее преимущественно используется ориентированный на k=3, что удобно для приложения. Сказанное позволяет говорить об уровнях r- и T-, которые подчинены n-уровню.

Специализация n-позиций. Отдельная позиция n_k может быть представлена [6] как триада $n_k(c_k) – n_k(b_k) – n_k(d_k)$ - аналог min – opt – max, т.е. детализирована, а затем специализирована. Специализация означает, что при использовании (1) указанные n-элементы отвечают только соответственно за позиции $c_k – b_k – d_k$, где последние

представляют детализацию отдельной позиции r_k на r-уровне. Между указанными позициями вводятся следующие связи, где Δ_k – расщепление k-узла:

$$\Delta_k = \frac{n_k(d_k)}{n_k(c_k)} = \sqrt{\frac{d_k}{c_k}} \quad ; \quad e_k = \frac{d_k - c_k}{d_k + c_k} = \frac{\Delta_k{}^2 - 1}{\Delta_k{}^2 + 1} \quad ; \quad a_k = \frac{d_k + c_k}{2} \qquad (2)$$

3. ПРЕДЫСТОРИЯ И НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ.

В этом разделе для удобства сопоставления ранее опубликованные результаты, и результаты, полученные в настоящей работе, представляются вместе с данными наблюдений. Предлагаемые таблицы позволяют в равной степени обсуждать как абстрактную систему отношений, так и систему межпланетных расстояний.

Этапы эволюции. Для узлов цикла 1:10 протоструктуры этап “0” [5] соответствует рис. 1а. Далее вводятся три этапа их последующей эволюции: I [11] – формирование базового расщепления (узлы k=1 - 4, 6, 7, 9, $10'$ и 10) → II [12] – начальная деформация базового расщепления (узлы k=1 - 4 и 10) → III – конечная деформация базового расщепления (узлы k=6, 7, 9 и $10'$).

Добавим, что на этапе I [11] циклический порядок прекращает существование, и узлы одного изолированного цикла 1:10 протоструктуры расщепляются в поисках дополнительных связей и большей устойчивости, формируя тем самым новый спектр. Особенность указанного спектра заключается в том, что все связи между позициями n реализуются на основе соотношения $B^2=AC$, а связи между основаниями (позициями на оси), их сдвигами (относительно исходного положения) и расщеплениями не учитываются.

Таблицы. Этап “0” [5] представлен в таблицах 1 и 2 справа от k позициями n и r/r_3 соответственно, скажем, для k=2 $n=1+\alpha^2=1{,}381966$ и $r/r_3=n^2\alpha^2=0{,}729490$. Позиции этого этапа (“0” state) понимаются как исходные для этапа I, позиции которого в свою очередь трактуются как исходные для этапа II, после чего позиции этапов I и II понимаются как исходные для этапа III.

Этап I [11] представлен в таблицах 1 и 2 строками initial state I, где каждый из узлов k расщеплен, т.е. показан [6] как триада (см. — • —). Элементы триады в шапке таблицы 1 интерпретируются как $n_k(c_k) – n_k(b_k) – n_k(d_k)$, что позволяет при использовании (1) говорить о позициях r-уровня $c_k – b_k – d_k$, представленных в шапке таблицы 2. В таблице 1 обозначены расщепление узла Δ_k согласно (2) и сдвиг его базы $\vec{\Delta}_k$ относительно исходной позиции, например, для k=2 $\vec{\Delta}=1{,}381966/1{,}376381=1{,}004058$ (принимаем $\vec{\Delta}>1$). Этап II [12] представлен строками final state II и касается узлов k=1 - 4 и 10.

Соответствие [6] планетных орбит позициям k показано в левых столбцах таблиц. На этапе “0” движение [6] является круговым (k=5 и 6 - исключение), позиции n интерпретируются как элементы спектра относительного момента количества движения. На последующих этапах элементы n-спектра расщепляются на компоненты, и каждая отдельная компонента отвечает за определённое планетное расстояние. Чтобы избежать возникающей неопределённости, мы предпочитаем при обсуждении n-позиций говорить о спектре параметра порядка.

Таблица 1. *Модельные позиции* n, *соответствующие этапам анализа ("0" state – initial state I – final state II – final state III), и преобразованные в* n *согласно (1) наблюдательные данные по известным [3] расстояниям (observed state, выделены). Расстояния см. в таблице 2; остальные обозначения - в тексте.*

k	Орбита	$n_k(c_k)$	$n_k(b_k)$	$n_k(d_k)$	Δ_k	$\vec{\Delta}_k$	δ, %
1	**Меркурий** "0"		1				
	initial st. I	0,897774	0,996270	1,105572	1,231458	1,003744	0,04
	final st. II	0,897239	0,995881	1,105367	1,231964	1,004136	$1{,}6*10^{-4}$
	observed st.	**0,897242**	**0,995881**	**1,105365**	**1,231959**	**1,004136**	
2	**Венера** st. "0"		1,381966				
	initial st. I	1,370820	1,376381	1,381966	1,008130	1,004058	0,05
	final st. II	1,371460	1,376113	1,380782	1,006797	1,004253	$6{,}0*10^{-4}$
	observed st.	**1,371452**	**1,376104**	**1,380773**	**1,006796**	**1,004260**	
3	**Земля** st. "0"		1,618034				
	initial st. I	1,604984	1,618034	1,631189	1,016327	1	0,02
	final st. II	1,604458	1,617921	1,631496	1,016852	1,000070	0
	observed st.	**1,604458**	**1,617921**	**1,631496**	**1,016852**	**1,000070**	
4	**Марс** st. "0"		2				
	initial st. I	1,902113	1,992541	2,087268	1,097342	1,003743	0,03
	final st. II	1,901683	1,992878	8,088447	1,098210	1,003574	$1{,}6*10^{-4}$
	observed st.	**1,901677**	**1,992877**	**2,088449**	**1,098214**	**1,003574**	
6	**Юпитер** st. "0"	3,618034	3,717480	3,819660	1,055728		
	initial st. I	3,599005	3,687500	3,778171	1,049785	1,008130	0,03
	final st. III	3,600463	3,688710	3,779131	1,049623	1,007799	$8{,}0*10^{-5}$
	observed st.	**3,600465**	**3,688715**	**3,779129**	**1,049622**	**1,007798**	
7	**Сатурн** st. "0"		5				
	initial st. I	4,866245	5	5,137431	1,055728		0,09
	final st. III	4,859662	4,993167	5,130341	1,055699	1,001368	$4{,}0*10^{-5}$
	observed st.	**4,859663**	**4,993170**	**5,130344**	**1,055699**	**1,001368**	
9	**Уран** st. "0"		7,236068				
	initial st. I	6,915749	7,081259	7,250731	1,048437	1,021862	0,04
	final st. III	6,919069	7,084316	7,253501	1,048331	1,021421	$4{,}0*10^{-5}$
	observed st.	**6,919070**	**7,084310**	**7,253499**	**1,048334**	**1,021422**	
10′	**Нептун** st. "0"						
	initial st. I	8,836289	8,872136	8,908128	1,008130		0,02
	final st. III	8,834345	8,872349	8,910524	1,008623	1,000024	$2{,}5*10^{-5}$
	observed st.	**8,834346**	**8,872353**	**8,910525**	**1,008623**	1,000024	
10	**Плутон** st. "0"		10				
	initial st. I	8,811651	10,0063	11,36295	1,289537	1,000631	0,01
	final st. II	8,811663	10,00565	11,36142	1,289362	1,000565	$4{,}3*10^{-4}$
	observed st.	**8,811727**	**10,00569**	**11,36144**	**1,289354**	**1,000569**	

Таблица 2. *Модельные r-позиции, соответствующие этапам анализа ("0" state – initial state I – final state II – final state III), и наблюдаемые расстояния [3] (observed state, выделены). Остальные обозначения - в тексте.*

k	Орбита	c_k/r_3	b_k/r_3	d_k/r_3	a_k/r_3	e_k	δ, %
1	**Меркурий** "0"		0,381966				
	initial st. I	0,307864	0,379122	0,466873	0,387368	0,205244	0,08
	final st. II	0,307497	0,378826	0,466700	0,387098	0,205636	$3{,}6*10^{-4}$
	observed st.	**0,307499**	**0,378826**	**0,466698**	**0,387099**	**0,205631**	
2	**Венера** st. "0"		0,729490				
	initial st. I	0,717770	0,723607	0,729490	0,723630	0,008019	0,10
	final st. II	0,718441	0,723324	0,728241	0,723341	0,006774	$1{,}2*10^{-3}$
	observed st.	**0,718433**	**0,723315**	**0,728231**	**0,723332**	**0,006773**	
3	**Земля** st. "0"		1				
	initial st. I	0,983934	1	1,016326	1,000130	0,016125	0,04
	final st. II	0,983289	0,999860	1,016709	1	0,016710	0
	observed st.	**0,98329**	**0,999860**	**1,01671**	**1**	**0,016710**	
4	**Марс** st. "0"		1,527864				
	initial st. I	1,381966	1,516489	1,664105	1,523036	0,092623	0,06
	final st. II	1,381341	1,517002	1,665987	1,523664	0,093408	$3{,}2*10^{-4}$
	observed st.	**1,381333**	**1,517000**	**1,665991**	**1,523662**	**0,093412**	
6	**Юпитер** st. "0"	5	5,278639	5,572808	5,286404	0,054177	
	initial st. I	4,947543	5,193842	5,452403	5,199973	0,048544	0,06
	final st. III	4,951553	5,197251	5,455174	5,203363	1,048394	$1{,}6*10^{-4}$
	observed st.	**4,951558**	**5,197267**	**5,455168**	**5.203363**	**0,048393**	
7	**Сатурн** st. "0"		9,549150				
	initial st. I	9,045085	9,525277	10,08130	9,563194	0,054177	0,18
	final st. III	9,020629	9,523068	10,05350	9,537063	0,054150	$0{,}8*10^{-4}$
	observed st.	**9,020634**	**9,523080**	**10,05351**	**9,537070**	**0,054151**	
9	**Уран** st. "0"		20				
	initial st. I	18,26851	19,15339	20,08113	19,17482	0,047266	0,08
	final st. III	18,28606	19,16993	20,09648	19,19127	0,047167	$0{,}8*10^{-4}$
	observed st.	**18,28606**	**19,16990**	**20,09647**	**19,19126**	**0,047168**	
10	**Нептун** st. "0"						
	initial st. I	29,82391	30,06638	30,03108	30,06738	0,008090	0,04
	final st. III	29,81078	30,06782	30,32712	30,06895	0,008586	$0{,}5*10^{-4}$
	observed st.	**29,81079**	**30,06785**	**30,32713**	**30,06896**	**0,008586**	
10	**Плутон** st. "0"		38,19660				
	initial st. I	29,65746	38,24482	49,31756	39,48751	0,248940	0,02
	final st. II	29,65791	38,23977	49,30488	39,48140	0,248813	$8{,}5*10^{-4}$
	observed st.	29,65834	**38,24010**	**49,30503**	**39,48169**	**0,248808**	

В таблице 2 строками observed state представлены [3] наблюдаемые расстояния. Здесь и далее $r_3=a_3$ - a. e., c – перигелий, d – афелий, b и a – малая и большая полуоси эллипса, e_k – эксцентриситет. Соответствующие указанным расстояниям и (1) позиции n приведены в таблице 1 как данные наблюдений. Усреднённое отклонение модельных

результатов в пределах триады от наблюдательных данных δ демонстрируется в правом столбце.

Этап III исследуется в настоящей работе, он в таблицах 1 и 2 касается узлов k=6, 7, 9 и $10^{/}$, отделённых пробелами от остальных узлов. Их позиции в строках initial state I [11] известны, а позиции в строках final state III являются искомыми.

4. МЕТОДИКА.

Методика является [5] тринитарной и применительно к задаче работы [11, 12] подробно изложена; ниже кратко повторяются основные положения. Исследуемые узлы исходно не интерпретируются, а затем представляются как спектр параметра порядка n, элементы которого задают согласно (1) спектр r-позиций.

Определения, термины и обозначения. Под взаимодействием узлов понимается установление связей между ними. На любом уровне анализа рассматривается триада A–B–C, где B называется базой группы, а C и A – её крыльями. С крыльями мы связываем представление о дополнительности оппозиционных элементов A и C, а с базой B – представление об их совместимости. База узла обозначается точкой, а крылья – концами расходящихся от базы линий. Знак —•— указывает на связь вида B^2=AC. В настоящей работе используется, как правило, именно указанная связь, она, например, представлена на рис. 1а, а также в таблицах 1 и 2; исключением являются позиции a_k в (2). Симметричным называется план, при котором элементы оппозиции ставятся в равные условия. Под совместимостью узлов понимается отсутствие противоречивости между ними; в идеальном варианте, который, например, имеет место в [5], достигается их тождественное совпадение.

Термины *узел, позиция, элемент спектра* являются синонимами, их использование связано, как с междисциплинарным характером работы, так и со стремлением избежать повторений. Выбор трактуется как вариант естественного отбора. Формирование в ряде случаев именуется сборкой. Наличие однотипных отношений [1] понимается как порядок. Сценарием называется последовательность структурных событий. Как правило, числа приводятся при участии восьми знаков, используются приблизительные значения α=0,618034; α^2=0,381966; α^3=0,236068; отклонение в последнем знаке в пределах ±0,000001 не считается ошибкой.

Расщепление Δ есть отношение наибольшей позиции к наименьшей в пределах узла; иногда позиция Δ выставляется непосредственно над триадой. Сдвиг оснований и сдвиг расщеплений обозначается символом $\vec{\Delta}$. Во всех случаях, когда речь идёт о сдвигах узлов, как правило, имеются в виду смещения относительно исходных позиций, представленных на рис.1а и в таблице 1; пояснения всегда даются.

Уровнями иерархии называются [13] уровни, которые выделяются нами в процессе анализа. Поскольку мы имеем дело с различными уровнями иерархии и разными этапами эволюции, постольку существуют определённые трудности с индексами, однако мы рассчитываем их преодолеть с помощью комментариев. Новый вариант порядка формируется только на основе элементов прежнего порядка. Сырьё на некотором этапе превращается в продукт, который понимается опять как сырьё на следующем этапе и т.д.

Взаимодействие узлов и правила. Для этапа "0" [5, 6] эволюции характерной является право-левая симметрия; узлы в пределах цикла делятся на пары-крылья с базой в $\sqrt{10}$, т.е. реализуется симметричный план на основе своего рода централизации; расщепление является исключением. Появляется указание на то, что расщепление в шестой степени может формировать основание: $\Delta_5^6 = \Delta_6^6 = (1+\alpha^6)^6 = 1{,}384562 \approx 1+\alpha^2$; обратная формулировка также возможна.

На этапе I [11] указанная централизация разрушается, число разных центров симметрии и триад на основе правила $B^2=AC$ резко увеличивается, расщепление узлов цикла становится правилом. При этом в каждом из узлов реализуется симметричный план при условии, когда квадрат базы равен произведению крыльев ($B^2=AC$); сдвиги баз имеют место, но заметной роли не играют. Подтверждается указание на то, что расщепление в шестой степени формирует основание: $\Delta_3^6 = (1{,}016327)^6 = 1{,}102049 \approx n_1(d_1) = 1{,}105572$; $\Delta_2^6 = \Delta_{10'}^6 = (1{,}008130)^6 = 1{,}049782 \approx \Delta_6 = 1{,}049785$; обратная формулировка также возможна. Появляются связи между сдвигами и расщеплениями: $\Delta_2 = \Delta_{10'} = \vec{\Delta}_6 = \vec{\Delta}_2^2 = 1{,}008130$; иначе говоря, сдвиг в численном выражении может быть расщеплением и наоборот. Достаточно ясно, что с классификацией позиций возникают трудности.

В ходе этапа II со значительной долей условности вводятся уровни иерархии *уровень оснований и расщеплений – уровень сдвигов – уровень малых изменений.* Уровень сдвигов при этом понимается как базовый. Связи между позициями на разных уровнях по схеме $a \rightarrow a^{1/6}$ или $a \leftarrow a^{1/6}$ становятся правилом. Здесь под a понимается позиция на уровне сдвигов. Допускается, что между уровнями и в пределах уровней возможны связи вида

$$a^6 - a - a^{1/6} \qquad (3)$$

По этой схеме в показателях степени реализуется триада 6 – 1 – 1/6. Мы столкнёмся с такими характеристиками, как расщепление сдвига и сдвиг расщепления. Сдвиг a может порождать сдвиг $a^{1/6}$ и наоборот сдвиг a может порождать сдвиг a^6; расщепление a сдвига может порождать расщепление $a^{1/6}$ основания; в любом случае обратная формулировка также возможна. Отметим, что min сдвиг, как будет показано, составляет $\vec{\Delta}=1{,}000024$ (рис. 5 и 6). Связи (3) не порождают большое разнообразие, поскольку далее вводится критерий выбора.

Таким образом, при смене этапов происходит смена вариантов порядка, причем область применения правила $B^2=AC$ как бы разрастается, а число связей увеличивается. С любой анализируемой позицией происходят изменения, которые именуются трансформациями.

В приложении, как и ранее [12] элементы n-спектра отвечают за определённые планетные расстояния и периоды обращения.

5. СДВИГИ И КРИТЕРИЙ ВЫБОРА.

Уровень сдвигов и схема сдвигов. Изменения, которые происходят с позициями в процессе трансформаций, весьма незначительны. По этой причине, во-первых, возникает потребность в специальной схеме, которая позволила бы оперировать со сдвигами и их изменениями. Во-вторых, необходимы *устойчивые* малые отношения, которые уже

сформированы и годятся для конструирования схемы сдвигов. И, в-третьих, нужны *изменчивые* малые отношения, позволяющие описывать текущую ситуацию. Два устойчивые малые отношения представлены [8, 9] на рис. 2a, из них выбран инвариант **1,006128**. Здесь Δ_2 и Δ_3 – расщепления узлов k=2 и k=3 на предшествующем этапе эволюции.

Уровень сдвигов [12] частично представлен на рис. 2b. Сценарий построен на предположении, согласно которому имеющийся в таблице 1 исходный сдвиг $\vec{\Delta}_1^{in.st.}$ =1,003744 трансформируется в конечный $\vec{\Delta}_1^{fin.st.}$=1,003739. Критерием такого выбора является [12] совместимость полученных результатов. Здесь на шаге S=1 имеющийся в таблице 1 исходный сдвиг для узла k=1 $\vec{\Delta}_1^{in.st.}$ = 1,003744 расщепляется как база и взаимодействует с инвариантом 1**,006128** , в результате чего при учёте (3) формируется расщепление конечного сдвига $\vec{\Delta}_1^{fin.st.}$=1,003739 узла k=1, представленное на рис. 2c. На шаге S=2 предполагается, что происходит трансформация сдвига $\vec{\Delta}_1^{in.st.}$=1,003744 $\rightarrow \vec{\Delta}_1^{fin.st.}$ =1,003739. При взаимодействии названных сдвигов схема разворачивается далее, формирует на шаге S=3 сдвиги расщеплений для узлов k=1 и k=10, после чего на шаге S=4 демонстрирует цикличность (возвращение к началу), что символизируется стрелкой (←).

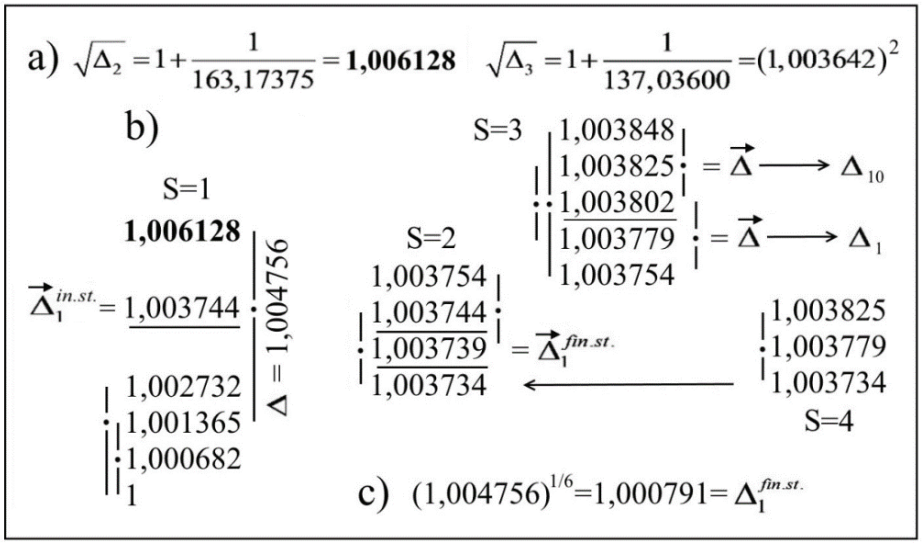


Рис. 2. *Формирование [12] уровня сдвигов:*
a) преобразованные [8, 9] инварианты;
b) развёртывание уровня сдвигов по шагам (пояснения в тексте);
c) формирование $\Delta_1^{fin.st.}$ - расщепления сдвинутой базы узла k=1. Ключевые позиции выделены.

Важной является изменчивая граница схемы, представленная вариантом 1,001365 на шаге S=1. Приведём два основанные на симметричном плане примера применения схемы сдвигов, которые используются в настоящей работе.

На рис. 3a показан фрагмент уровня сдвигов, ответственный [12] за формирование позиции $n_3(d_3)^{fin.st.}$. Здесь можно видеть, что сдвиг $\vec{\Delta}_1^{in.st.}$=1,003744 с рис.2b расщепляется и формирует слева границу уровня 1,001350 , а справа – границу 1,001382. Слева на основе границы при участии (3) формируется исходный сдвиг для позиции $n_3(d_3)^{in.st.}$, а справа – конечный сдвиг для позиции $n_3(d_3)^{in.st}$. Позиции для узла k=3 представлены в таблице 1. Фрагмент приведён потому, что далее нам понадобится граница 1,001382 из его правой части.

На рис. 3b показано, как на уровне сдвигов формируется сначала как крыло позиция 1,001437, которая затем рассматривается как база, в результате чего появляется крыло 1,000144. Эта позиция также понадобится нам позже; она участвует в сборке k-узлов, указанных слева от неё.

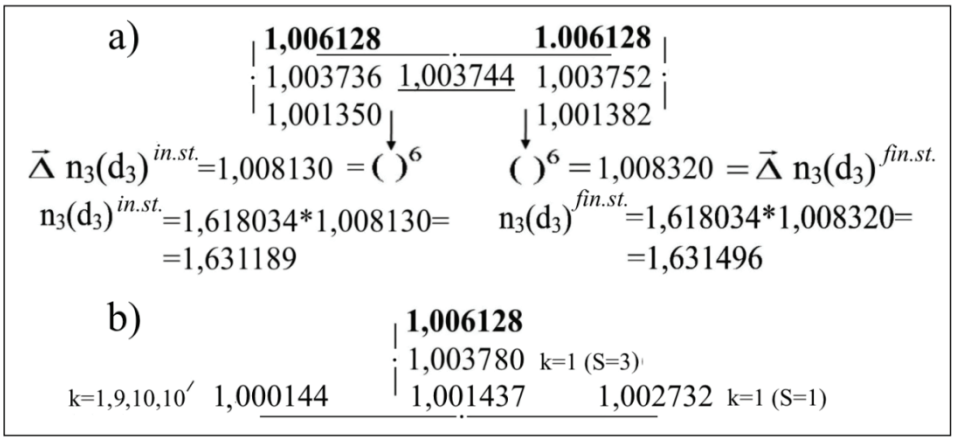


Рис. 3. *Формирование на уровне сдвигов позиций:*
a) $n_3(d_3)$: исходной – слева и конечной – справа [12]; b) 1,000144.
В a) узел k=3 в приложении представляет Землю, в b) узел 1,000144 является вспомогательным, символы S соответствуют рис. 2.

Процедура поиска и критерий. Для каждого узла k процедура является поисковой, узлы трансформируются последовательно. Каждый шаг выбора нельзя доказать, оценивается только конечный результат. Объектом поиска является компромисс между всеми участвующими в процессе уровнями иерархии и правилами; он понимается как совместимость сдвигов для оснований и расщеплений каждого k-узла. Предполагается, что указанная совместимость способствует выживанию как узла, так и группы узлов, куда он входит. Учитывается предыстория: a) основания и расщепления, представленные в строках initial state таблицы 1; b) изменения в ранее трансформированных узлах. Инструментами поиска являются: a) схема сдвигов на рис.2b; b) связи вида B^2=AC в триадах; c) связи вида (3) между уровнями иерархии.

Критерий. Сделанный выбор для узла k считается наилучшим, если выполняются следующие условия: a) для сдвигов оснований реализуется триада $\vec{\Delta}^2 n(b) = \vec{\Delta} n(c) * \vec{\Delta} n(d)$; b) для расщепления конечный сдвиг близок к исходному сдвигу, т.е. $\vec{\Delta}^{fin.st}\Delta \approx \vec{\Delta}^{in.st}\Delta$; c) сдвиги и расщепления демонстрируют совместимость. Условия подробно

комментируются в тексте. Дополнительным критерием правильности выбора является [13] “смирительная рубашка опыта” – проверка модельных соображений на примере планет Солнечной системы.

В ходе поиска ищутся сдвиги оснований вида $\vec{\Delta}n$ и проверяются согласно критерию a). Предлагается согласно критерию b) сдвиг расщепления вида $\vec{\Delta}\Delta$. Выбирается узел k и проверяется критерий c). Конечный результат для узла k представляется на отдельном рисунке, где выбор уже реализован и проверки проведены. В пределах рисунка рядом с позицией указывается ссылка на узел (или узлы), например, k=10, в формировании которой узел ранее участвовал, а при обсуждении сценария приводится пояснение и указывается рисунок. Результаты поиска приводятся снизу на рисунке в табличной форме, куда также для сравнения включены наблюдательные данные.

Мы предполагаем, что на этапе III последовательность сборки узлов следующая: k=9 – k=10′ – k=7 – k=6, т.е. начинаем с узла критерия [5] в правой части цикла. Исходные позиции имеются в таблице 1.

6. СБОРКА УЗЛА k=9.

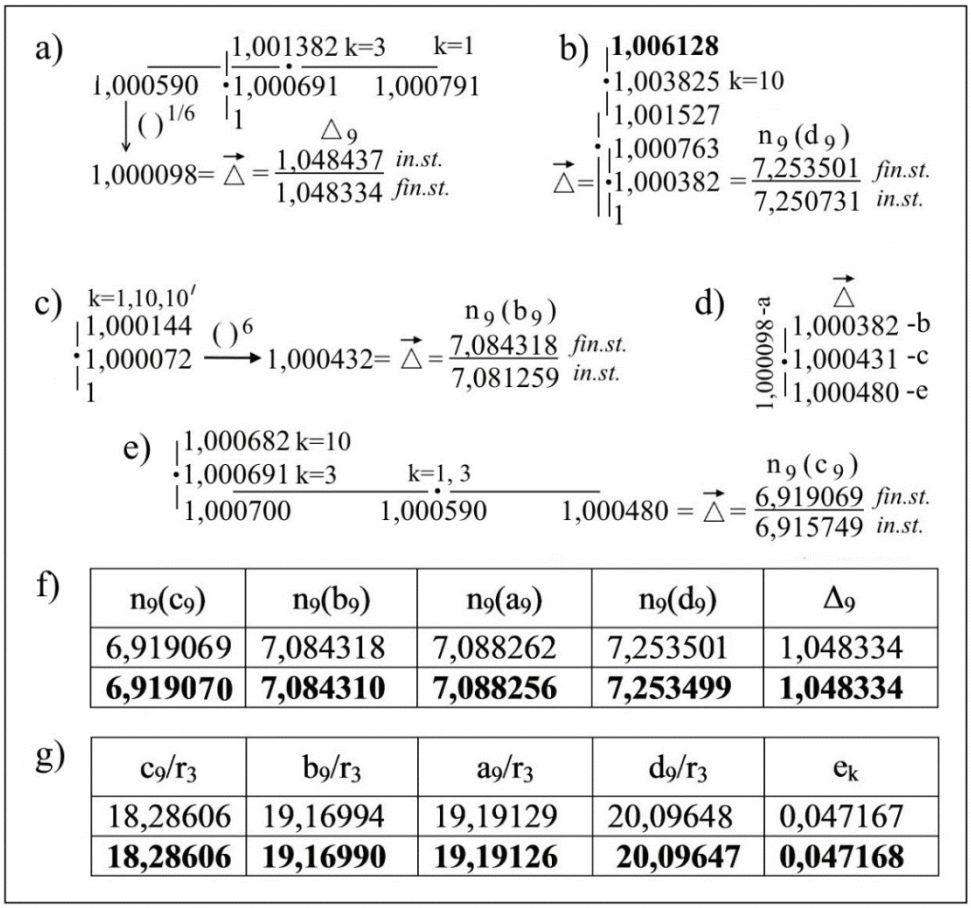
Гипотеза. Формирование узла k=9 реализуется при участии отношений, уже сложившихся ранее при сборке узлов k=1, 3 и 10. Узел k=10′ упоминается для полноты картины, его отсутствие не влияет на сборку.

Сценарий сборки рассматривается на рис. 4. Здесь выбираем позицию 1,001382 с рис. 3a, которая участвует в сборке узла k=3, и переносим её на рис. 4a. Рассматриваем её как верхнее крыло, которое взаимодействует с 1 – крылом снизу и формируем базу 1,000691. При участии названной базы, которая взаимодействует с представленным на рис. 2c правым крылом 1,000791= $\Delta_1^{fin.st.}$, формируем левое крыло 1,000590. Трансформируем эту позицию согласно (3) на уровень малых изменений и считаем, что при её участии возможна позиция 1,000098, как это показано.

На рис. 4b выбираем две позиции с рис. 2b, а именно **1,006128** (S=1) и 1,003825 (S=3), из которых вторая ответственна за сдвиг расщепления Δ_{10}. Эту вторую позицию рассматриваем, как базу, а первую как крыло и получаем второе крыло 1,001527 – вариант нижней границы схемы сдвигов. Это крыло при взаимодействии с 1 позволяет, как это показано, получить позицию 1,000382. Далее действуем в пределах уровня малых изменений и стремимся выявить позиции, близкие к 1,000382.

На рис. 4c выбираем позицию 1,000144, которая была представлена на рис.3b, она ответственна за сборку узлов k=1, 10 и 10′. Названную позицию рассматриваем, как крыло при втором крыле 1 и формируем базу 1,000072. Используя эту базу и (3), получаем отношение 1,000432.

На рис. 4e выбираем две позиции, а именно 1,000682 с рис. 2b (S=1) и 1,000691 с рис. 4a. Вторую из них рассматриваем, как базу, а первую как крыло и получаем второе крыло 1,000700. Трактуем позицию 1,000590 с рис. 4a, как базу (ранее она была крылом) при левом крыле 1,000700 и получаем правое крыло – позицию 1,000480.



f)

$n_9(c_9)$	$n_9(b_9)$	$n_9(a_9)$	$n_9(d_9)$	Δ_9
6,919069	7,084318	7,088262	7,253501	1,048334
6,919070	**7,084310**	**7,088256**	**7,253499**	**1,048334**

g)

c_9/r_3	b_9/r_3	a_9/r_3	d_9/r_3	e_k
18,28606	19,16994	19,19129	20,09648	0,047167
18,28606	**19,16990**	**19,19126**	**20,09647**	**0,047168**

Рис. 4. *Узел k=9 (В приложении – Уран):*
a) участие узлов k=1 и k=3 в сборке конечного расщепления Δ_9;
b) участие варианта границы 1,001527 в сборке конечной позиции $n_9(d_9)$;
c) участие узлов k=1, 10′ и 10 в сборке конечной позиции $n_9(c_9)$; d) критерий; e) участие узлов k=3 и 10 в сборке конечной позиции $n_9(c_9)$ f) модельные n-позиции и наблюдательные данные (выделены); g) модельные r-позиции и [3] наблюдательные данные (выделены).

Интерпретация позиций. На рис. 4a позицию 1,000098 трактуем как сдвиг $\vec{\Delta} = \Delta_9^{in.st.} / \Delta_9^{fin.st.}$, откуда следует $\Delta_9^{fin.st.}$=1,048334. На рис.4b позицию 1,000382 трактуем как сдвиг $\vec{\Delta} = n_9(d_9)^{fin.st.} / n_9(d_9)^{in.st.}$, откуда следует $n_9(d_9)^{fin.st.}$=7,253501. На рис. 4c позицию 1,000432 трактуем как сдвиг $\vec{\Delta} = n_9(b_9)^{fin.st.} / n_9(b_9)^{in.st.}$, откуда следует $n_9(b_9)^{fin.st.}$=7,084318. На рис. 4e позицию 1,000480 трактуем как сдвиг $\vec{\Delta} = n_9(c_9)^{fin.st.} / n_9(c_9)^{in.st.}$, откуда следует $n_9(c_9)^{fin.st.}$=6,919069.

Критерий a) можно видеть на рис. 4d, критерий b) – на рис. 4a, а критерий c) при сравнении рис. 4a и рис. 4d, где расщепление Δ и сдвиг $\vec{\Delta}$ совпадают. Для узла k=9 основными объединяющими триады элементами являются позиции 1,000590 и 1,000691, которые повторяются дважды на рис. 4a и рис. 4e в разных конфигурациях.

Полную картину на n-уровне в пределах узла представляем на рис. 4f. Здесь с рис. 4a, 4b, 4c и 4e выставляем конечные значения Δ_9, $n_9(d_9)$, $n_9(b_9)$и $n_9(c_9)$. Выставленная

позиция $n_9(b_9)$ совпадает с $n_9(b_9)$=7,084312 , определённой на основе B^2=AC, в пределах $9*10^{-5}$%. На данном примере можно видеть, как совмещаются отношения из разных "источников" и как возникают противоречия – здесь в $n_9(b_9)$. На рис. 4g представляем позиции на r-уровне при использовании данных рис. 4f и связей (1). Соответствие результатов наблюдательным данным по планетным расстояниям обсуждается в разделе 10.

7. СБОРКА УЗЛА k=10′.

Гипотеза. Формирование узла k=10′ реализуется при участии отношений, сложившихся ранее при сборке узлов k=1, 3, 9 и 10.

Сценарий сборки представлен на рис. 5. На рис. 5a размещаем два крыла 1,000590 и 1,000791 с рис. 4a; первое из них ответственно за $\vec{\Delta}\Delta_9$ - сдвиг расщепления узла k=9, а второе есть $\Delta_1^{fin.st.}$ - расщепление сдвинутой базы узла k=1 согласно рис. 2c. Позицию 1,000590 рассматриваем как базу при правом крыле 1,000791, в результате чего формируем левое крыло 1,000389. После этого названную базу трактуем, как крыло и при опоре на левое крыло 1,000389 выделяем базу 1,000489.

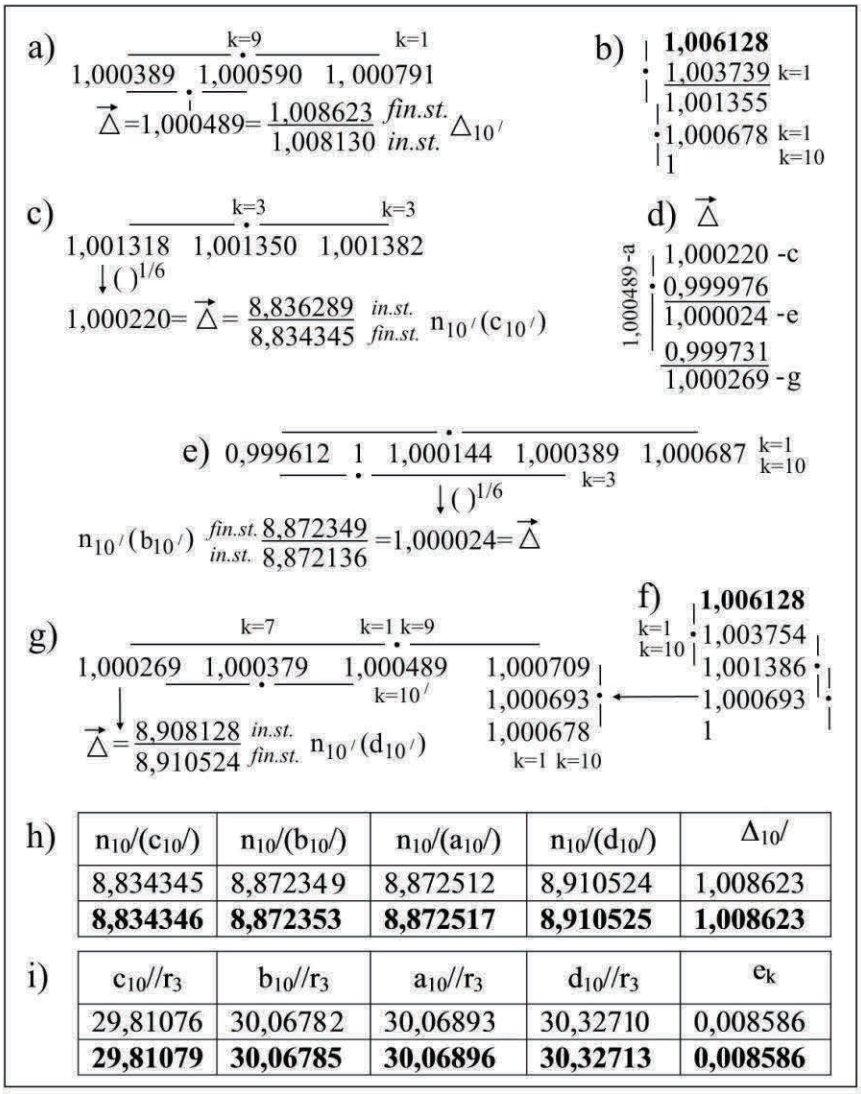
На рис. 5b представляем фрагмент предыстории. Здесь показываем выделение базы 1,000678 при взаимодействии с 1 границы схемы сдвигов 1,001355; позиция 1,003739= $\vec{\Delta}_1^{fin.st.}$ есть конечный сдвиг для узла k=1 согласно рис. 2b (S=2). Названная база участвует [12] в формировании конечного расщепления $\Delta_1^{fin.st.}$ и сдвига позиции $n_{10}(b_{10})$. Обращение к ссылкам здесь играет вспомогательную роль, поскольку и так видно, что взаимодействие узлов соответствует принятым правилам.

На рис. 5c показываем, как взаимодействуют представленные на рис. 3a и ответственные за расщепление узла k=3 позиции 1,001350 и 1,001382, в результате чего в схеме сдвигов реализуется позиция 1,001318. На её основе при участии (3) формируем отношение 1,000220 на уровне малых изменений.

На рис. 5e полученное на рис. 5a левое крыло 1,000389 рассматриваем, как правое крыло и на базе 1 формируем левое крыло – позицию 0,999612; соответствующую триаду выставляем под осью. Берём это крыло и позицию 1,000678 с рис. 5b, которую также рассматриваем как крыло, после чего формируем базу 1,000144; триаду обозначаем над осью. Показываем, что указанная база при использовании (3) может быть переведена на уровень малых изменений и представлена как 1,000024.

На рис. 5f показываем, что имеет право на существование позиция 1,000693. Она получена как база при взаимодействии 1 и границы схемы сдвигов 1,001386, которая сформирована на базе сдвига 1,003754, имеющегося на рис. 3b (см. S=3) и являющегося результатом взаимодействия узлов k=1 и k=10.

На рис. 5g позиция 1,000693 с рис. 5f как база взаимодействует с нижним крылом 1,000678 с рис. 5b и формирует верхнее крыло 1,000709. При названном крыле и базе 1,000489 с рис. 5a формируется второе крыло – позиция 1,000269. На этом же рисунке дополнительно обозначена позиция 1,000379, которая потребуется нам в следующем разделе при сборке узла k=7 на рис. 6.



h)

$n_{10'}/(c_{10'})$	$n_{10'}/(b_{10'})$	$n_{10'}/(a_{10'})$	$n_{10'}/(d_{10'})$	$\Delta_{10'}$
8,834345	8,872349	8,872512	8,910524	1,008623
8,834346	**8,872353**	**8,872517**	**8,910525**	**1,008623**

i)

$c_{10'}//r_3$	$b_{10'}//r_3$	$a_{10'}//r_3$	$d_{10'}//r_3$	e_k
29,81076	30,06782	30,06893	30,32710	0,008586
29,81079	**30,06785**	**30,06896**	**30,32713**	**0,008586**

Рис.5. *Узел k=10′ (В приложении - Нептун): a) участие узлов k=1 и k=9 в сборке конечного расщепления $\Delta_{10'}$; b) фрагмент предыстории - участие узлов k=1 и k=10 [12] в формировании позиции 1,000678; c) участие узла k=3 в сборке конечной позиции $n_{10'}/(c_{10'})$; d) критерий; e) участие узлов k=1, 3 и 10 в сборке конечной позиции $n_{10'}/(b_{10'})$; f) формирование позиции 1,000693; g) участие узлов k=1, 9, 10′ и 10 в сборке конечной позиции $n_{10'}/(d_{10'})$; h) модельные n-позиции и наблюдательные данные (выделены); i) модельные r-позиции и [3] наблюдательные данные (выделены).*

Интерпретация позиций. На рис. 5a (а также на рис. 5g) позицию 1,000489 трактуем как сдвиг $\vec{\Delta} = \Delta_{10'}^{fin.st.} / \Delta_{10'}^{in.st.}$, т.е. конечное расщепление есть $\Delta_{10'}$=1,008623. На рис.5c позицию 1,000220 трактуем как сдвиг $\vec{\Delta} = n_{10'}(c_{10'})^{fin.st.} / n_{10'}(c_{10'})^{in.st.}$, т.е. конечная позиция $n_{10'}(c_{10'})$=8,834345. На рис. 5e позицию 1,000024 понимаем как сдвиг $\vec{\Delta} = n_{10'}(b_{10'})^{in.st.} / n_{10'}(b_{10'})^{fin.st.}$, т.е. конечная позиция $n_{10'}(b_{10'})$=8,872349. На рис. 5g узел 1,000269 интерпретируем как сдвиг $\vec{\Delta} = n_{10'}(d_{10'})^{in.st.} / n_{10'}(d_{10'})^{fin.st.}$, а это значит, что конечная позиция $n_{10'}/(d_{10'})$=8,910524.

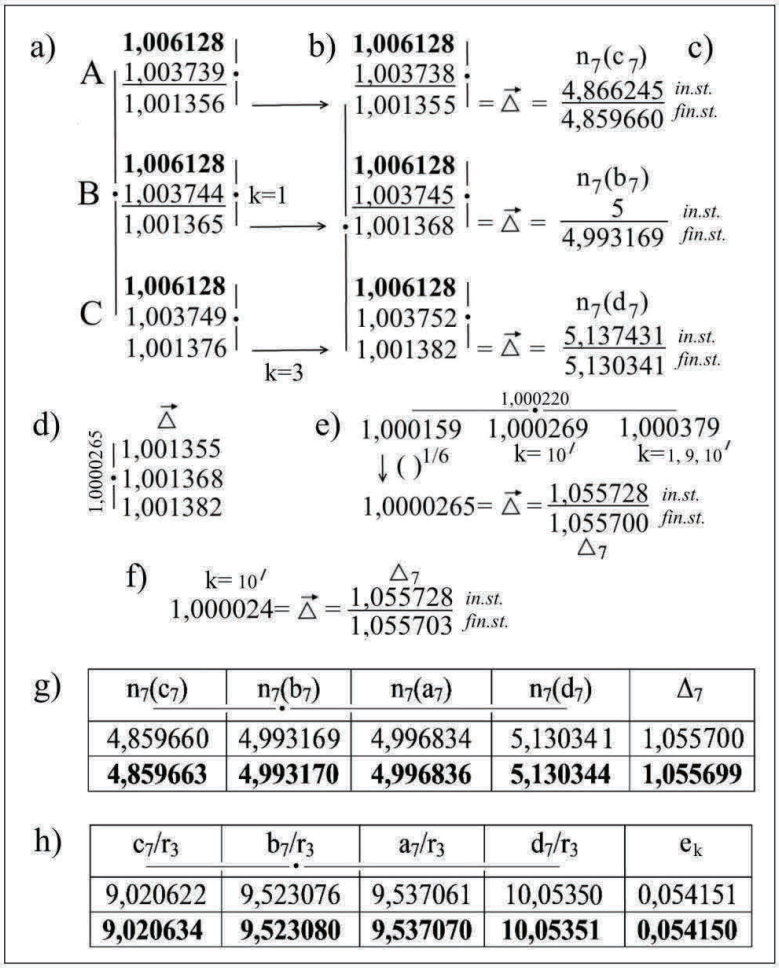
Критерий. На рис. 5d представляем как триаду полученные на рис. 5c, 5e и 5f сдвиги, демонстрируя тем самым выполнение критерия a). Здесь используем прямые и обратные значения чисел. Критерий b) соблюдается согласно рис. 5a. Расщепление сдвигов 1,000489 здесь равно сдвигу расщепления на рис.4a, т.е. критерий c) выполняется.

Полную картину на n-уровне в пределах узла представляем на рис. 5h, где с рис. 5a, рис. 5c, рис. 5e и рис. 5g выставляем конечные значения всех позиций. Констатируем, что данные из различных "источников" хорошо совмещаются. На рис. 5i представляем позиции на r-уровне, используя данные с рис. 5h и связи (1).

8. СБОРКА УЗЛА k=7.

Гипотеза. Сборка узла k=7 реализуется при участии отношений, сложившихся ранее при сборке узлов k=1, 3, 9 и $10'$.

Сценарий сборки размещен на рис. 6. Исходные позиции строим на основе рис. 2b и представляем на рис. 6a как триады A-B-C. Здесь исходный сдвиг узла k=1



$n_7(c_7)$	$n_7(b_7)$	$n_7(a_7)$	$n_7(d_7)$	Δ_7
4,859660	4,993169	4,996834	5,130341	1,055700
4,859663	**4,993170**	**4,996836**	**5,130344**	**1,055699**

c_7/r_3	b_7/r_3	a_7/r_3	d_7/r_3	e_k
9,020622	9,523076	9,537061	10,05350	0,054151
9,020634	**9,523080**	**9,537070**	**10,05351**	**0,054150**

Рис. 6. *Узел k=7 (в приложении – Сатурн): a) исходная группировка триад A-B-C; b) конечная группировка триад; c) интерпретация крыльев триад; d) критерий; e) формирование сдвига для расщепления Δ_7; f) вариант формирования сдвига для расщепления Δ_7; g) модельные n-позиции и наблюдательные данные (выделены); h) модельные r-позиции и [3] наблюдательные данные (выделены).*

$\vec{\Delta}_1^{in.st.}$ =1,003744 (B) трактуем как базу, которая взаимодействует с крылом – конечным сдвигом $\vec{\Delta}_1^{fin.st.}$ =1,003739 (A), в результате чего формируется крыло $\vec{\Delta}$ =1,003749 (C). Согласно рис. 2b все названные сдвиги являются базами триад, в которых верхнее крыло – инвариант **1,006128** – устойчиво, а нижнее крыло – граница схемы – незначительно меняется.

Отмечаем, что на рис. 6a в триаде C нижняя граница схемы 1,001376 близка к аналогичной границе 1,001382, которая представлена на рис. 3b и относится к узлу k=3. Далее допускаем, что в триаде C близость трансформируется в равенство, т.е. 1,001376 → 1,001382 и представляем ситуацию на рис. 6b. В триадах C и A происходят соответствующие изменения, в частности, в триаде A реализуется аналогичная трансформация 1,001356 → 1,001355. Трансформации обозначаем стрелками, а на рис. 6d выставляем представленные в b) сдвиги. Далее поясняем, почему представлены именно указанные позиции.

На рис. 6e выбираем и представляем позиции 1,000269 и 1,000379, которые участвуют согласно рис. 5g в сборке узла k=10′. Первая из них отвечает за сдвиг основания $\vec{\Delta} = n_{10'}(d_{10'})^{in.st.} / n_{10'}(d_{10'})^{fin.st.}$, а вторая является результатом дополнительного построения. Позицию 1,000269 рассматриваем как базу (ранее – крыло) при правом крыле 1,000379 (ранее – база) и формируем левое крыло 1,000159. При его наличии согласно (3) формируем позицию 1,0000265. Отмечаем, что указанной триаде соответствует расщепление Δ=1,000220; эта позиция на рис. 5c играла роль сдвига.

На рис. 6f представляем позицию 1,000024, ответственную согласно рис. 5e за сдвиг основания $n_{10}/(b_{10'})$, и наделяем её иным смыслом, о чём будет сказано далее.

Интерпретация позиций. На рис. 6c границу в A с рис. 6b рассматриваем как сдвиг $\vec{\Delta} = n_7(c_7)^{in.st.} / n_7(c_7)^{fin.st.}$; аналогичным образом поступаем с границами в B и C, где используем соответственно $n_7(b_7)$ и $n_7(d_7)$. Таким образом получаем конечные позиции $n_7(c_7)$=4,859660; $n_7(b_7)$=4,993169; $n_7(d_7)$=5,130341, для которых соблюдается правило B^2=AC. На рис. 6e и рис. 6f трактуем позиции 1,0000265 и 1,000024 как варианты сдвигов расщепления Δ_7.

Критерий a) – триаду сдвигов оснований представляем на рис. 6d. Критерий b) показан на рис. 6f. Критерий c) выполняется, что можно видеть при сравнении рис. 6d и рис. 6e, откуда видно, что расщепление равно сдвигу.

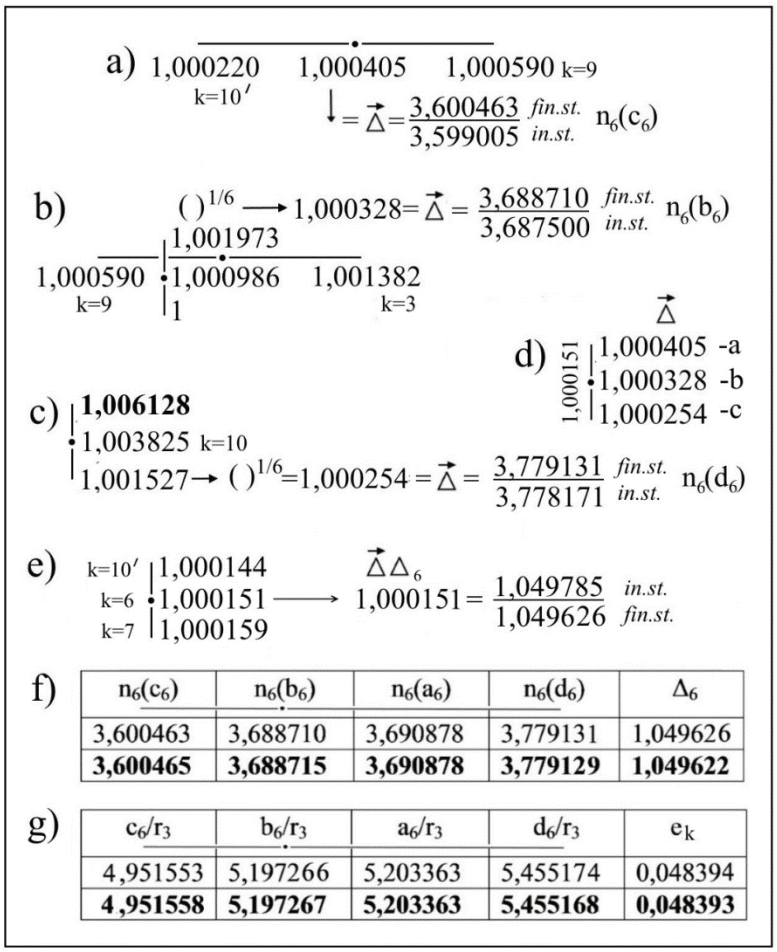
Полную картину в пределах узла представляем на рис. 6g, где с рис. 6c и рис. 6e выставляем соответственно позиции $n_7(c_7)$, $n_7(b_7)$, $n_7(d_7)$ и Δ_7=1,055700. Приведённые примеры также показывают, что отношения из разных источников хорошо совмещаются. На рис. 6h приводим позиции на r-уровне при использовании данных рис. 6g и связей (1).

9. СБОРКА УЗЛА k=6.

Гипотеза. Формирование узла k=6 реализуется при участии отношений, сложившихся ранее при сборке узлов k=3, 7, 9, 10 и 10′.

Сценарий сборки рассматривается на рис. 7. На рис. 7a представляем позиции 1,000220 с рис. 5c и рис. 6e, а также 1,000590 с рис. 4a и 5a, они участвуют в сборке узлов

k=10′ и k=9 соответственно. Названные позиции трактуем, как крылья и формируем базу 1,000405.



$n_6(c_6)$	$n_6(b_6)$	$n_6(a_6)$	$n_6(d_6)$	Δ_6
3,600463	3,688710	3,690878	3,779131	1,049626
3,600465	**3,688715**	**3,690878**	**3,779129**	**1,049622**

c_6/r_3	b_6/r_3	a_6/r_3	d_6/r_3	e_k
4,951553	5,197266	5,203363	5,455174	0,048394
4,951558	**5,197267**	**5,203363**	**5,455168**	**0,048393**

Рис. 7. *Узел k=6 (В приложении – Юпитер): a) формирование позиции $n_6(c_6)^{fin.st.}$; b) формирование позиции $n_6(b_6)^{fin.st}$; c) формирование позиции $n_6(d_6)^{fin.st.}$; d) критерий;e) формирование позиции $\Delta_6^{fin.st.}$; f) модельные n-позиции и наблюдательные данные (выделены); g) модельные r-позиции и [3] наблюдательные данные (выделены).*

На рис. 7b представляем как крылья две позиции, а именно 1,000590 с рис. 4a и 1,001382 с рис. 3a. Роль первой смотри пояснение к рис. 7a, а вторая участвует в сборке узла k=3. Результатом является база 1,000986, на основе которой при взаимодействии с 1 формируем позицию 1,001973 – вариант границы схемы сдвигов согласно рис. 2b. После этого её при участии (3) переводим на уровень малых сдвигов, т.е. формируем позицию 1,000328 .

На рис. 7c показываем фрагмент схемы сдвигов с имеющейся на рис. 3b базой 1,003825, ответственной за расщепление узла k=10. Полученную границу схемы 1,001527 при участии (3) представляем на уровне малых сдвигов как 1,000254. На рис. 7d представляем полученные выше позиции как триаду и обозначаем соответствующее ей расщепление Δ=1,000151. На рис. 7e слева показываем, что только что названная позиция Δ есть результат группировки оснований, имеющихся на рис. 5e и рис. 6e.

Интерпретация позиций. На рис. 7a позицию 1,000405 трактуем как сдвиг $\vec{\Delta} = n_6(c_c)^{fin.st.} / n_c(c_c)^{in.st.}$, в результате чего формируем конечное значение $n_6(c_6)$= 3,600463. Аналогичным образом поступаем с позициями 1,000328 и 1,000254 на рис. 7b и 7c, где используем соответственно $n_7(b_7)$ и $n_7(d_7)$ и получаем конечные значения $n_6(b_6)$=3,688710 и $n_6(d_6)$=3,779131. На рис. 7d и рис. 7e позицию 1,000151 интерпретируем как сдвиг расщепления узла k=6, т.е. получаем Δ=1,049626.

Рис. 7d представляем как критерий a). Выполнение критерия b) демонстрируем справа на рис. 7e. Выполнение критерия c) можно видеть при сравнении расщепления на рис. 7d и варианта основания слева на рис. 7e.

Позиции узла на уровне n представляем на рис. 7f, где выставляем конечные позиции $n_6(c_6)$, $n_6(b_6)$ и $n_6(d_6)$ с рис. 7a, рис. 7b и рис. 7c соответственно, после чего выставляем расщепление Δ_6. Указанное расщепление соответствует полученному справа на рис. 7e в пределах $\delta=2{,}0*10^{-5}$%. Позиции r-уровня размещаем на рис. 7g; они получены при использовании (1) на основе рис. 7f.

10. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Оценка модельных соображений. В работе рассмотрено расщепление узлов k=6, 7, 9 и $10^{/}$ цикла 1:10 ЖК протоструктуры в ходе III этапа эволюции, который согласно модели соответствует эволюционной зрелости системы. Узлы k в результате детализации представлены с помощью приблизительно пятидесяти взаимодействующих на числовой оси позиций: четыре триады на двух этапах, у каждой позиции есть сдвиг.

Анализ построен как следствие трансформации структурного основания для узла k=1 $\vec{\Delta}_1^{in.st.} = 1{,}003744 \rightarrow \vec{\Delta}_1^{fin.st.} = 1{,}003739$. Правильность названного выбора подтверждена на уровне абстрактной структуры путём применения критерия. Полученные связи в работе не образуют систему, которая могла бы быть представлена на одной схеме. Возможно, однако, что такая система перехода initial state → final state существует, а рис. 3 и рис.6 являются её фрагментами. Не исключено, что количество представленных связей может быть увеличено при более детальном анализе. Также вполне вероятно, что совместимость ряда узлов реализуется на тождественном уровне.

Согласно проведённому исследованию в ходе III этапа эволюции:

- число связей между узлами увеличивается, т.е. устойчивость системы возрастает; связи являются перекрёстными, реализуется тотальная взаимозависимость узлов сети;

- в группировке узлов формируется новый порядок, в котором: a) сдвиги играют ключевую роль, b) выполняется специальный критерий выбора и c) результаты весьма мало отличаются от этапа I, например, по расщеплениям в среднем не более 0,02%;

- в сценариях повторяются имевшие место ранее и вновь сформированные инварианты – воспроизводящиеся отношения, которые, по нашему мнению, являются фрагментами цикличности.

При учёте [11, 12] можно заключить, как в системе формируются правила. Сначала они возникают как некоторые случайные и недостаточно отчётливые совпадения, а затем “разрастаются” и обретают отчётливость. При их выявлении мы ориентировались на взаимодействие элементов оппозиции [5] *аномалия – парадигма*. Механизмом развёртывания структуры является наращивание выполняемых узлами функций: крыло

становится базой, основание – расщеплением, расщепление – сдвигом и наоборот. Мы [5] трактуем этот феномен как двузначимость (двусмысленность). Использование схемы сдвигов облегчает поиск; если схему исключить, поиск будет носить случайный характер, как, видимо, и происходит в природе.

Модельные результаты и данные наблюдений. Представленные на рис. 3 - 7 позиции n_k и r_k/r_3 перенесены в строки final state таблиц 1 и 2 соответственно. Узлы k=1 - 4 и 10 включены [12] для полноты картины. В строках observed state, напомним, приведены данные, соответствующие наблюдениям. Усреднённые по всем планетным орбитам отклонения модельных позиций от наблюдаемых составляют на n-уровне $4*10^{-5}$%, а на r-уровне $-8*10^{-5}$%.

Выскажем предположение, согласно которому структура планетных расстояний зависит от выгорания Солнца, чему служит подтверждением [10] структура орбит спутников Марса. В таком случае, видимо, при некоторой массе Солнца реализуется сдвиг $\vec{\Delta}_1^{in.st.}$=1,003744, а при несколько меньшей массе – сдвиг $\vec{\Delta}_1^{fin.st.}$ =1,003739. Возможно, что расщепление орбиты Земли Δ_3 по параметру n находится в прямой зависимости от массы Солнца.

Возможно также, что микросистемы и макросистемы строятся при участии дополнительных [8] и представленных на рис. 2а оснований, а именно 1/137,03600 и 163,17375. Именно по этой причине в настоящей работе выбран второй инвариант.

При условии n(T)=n(a) позиции на T-уровне приблизительно определяются, т.е. периоды обращения планет могут быть вычислены на основе (1). Результаты представлены в таблице 3. В среднем модельные периоды обращения планет не отличаются от наблюдаемых в пределах $2*10^{-2}$ %. Моделирование периодов обращения является актуальной задачей и нуждается в специальном анализе.

Таблица 3. *Позиции на T-уровне для цикла 1:10 ЖК протоструктуры при условии n(a)=n(T); в приложении - модельные периоды обращения планет $T_{fin.st.}/T_3$. Для сравнения приведены позиции $T_{"0"st.}/T_3$ и наблюдаемые периоды обращения $T_{obs.st.}/T_3$ (выделены). Для k=6 в"0"st. в указано значение n(a).*

k	Планета	$n_{"0".st.}$	$T_{"0".st.}/T_3$	n(a)=n(T)	$T_{fin.st.}/T_3$	$T_{obs.st.}/T_3$	δ, %
1	Меркурий	1	0,236068	1,006695	0,240841	**0,240842**	$4*10^{-4}$
2	Венера	1,381966	0,623059	1,376129	0,615197	**0,615179**	$3*10^{-3}$
3	Земля	1,618034	1	1,618034	1	**1**	0
4	Марс	2	1,888544	1,997249	1,880762	**1,880816**	$3*10^{-3}$
6	Юпитер	3,720213	12,15460	3,690878	11,86933	**11,86180**	0,06
7	Сатурн	5	29,50850	4,996835	29,45249	**29,45662**	0,01
9	Уран	7,236068	89,44273	7,088258	84,07282	**84,010574**	0,07
10′	Нептун			8,872516	164,8836	**164,78843**	0,06
10	Плутон	10	236,0680	10,16679	248,0782	**247,9206**	0,06

Основное достижение. 1. Проанализировано расщепление четырёх узлов в одном из циклов протоструктуры (k=6, 7, 9 и 10′) на этапе III - эволюционной зрелости системы. Показано, что для каждого k-узла результат: a) представляется в виде совокупности сдвигов относительно предшествующих позиций b) прямо зависит, как от предыстории

(этапов I и II эволюции), так и от текущего состояния остальных узлов цикла; c) весьма мало отличается от этапа I. Представлены наглядные свидетельства того, как сеть в процессе самоорганизации использует имеющиеся возможности, разрастается и заполняет структурные ниши.

2. Применение модели к планетной системе Солнца показывает, что: a) система орбит формируется в процессе эволюции протоструктуры; b) модельные расстояния по триаде r-позиций соответствуют наблюдаемым расстояниям в среднем в пределах $5*10^{-5}$ %; c) модельные периоды обращения планет не отличаются от наблюдаемых в пределах $5*10^{-2}$ %.3. Соответствие модельных результатов наблюдательным данным позволяет обсуждать эволюционную зрелость выявленных позиций и их связи с разных точек зрения.

3. Получено косвенное подтверждение того, что представленные ранее предшествующие этапы развёртывания системы узлов действительно имеют место. При формировании протоструктуры [5] ставилась задача выхода на последний из уровней иерархии в триаде Ю. Вигнера: *события – законы – принципы симметрии*. По нашему мнению, настоящее исследование подтверждает, что протоструктура представляет собой подходящий инструмент для поисков такого рода, а также пригодна для изучения процессов эволюции (в частности – в Солнечной системе).

Автор выражает глубокую признательность В.Ю. Александровой и Ю.В. Томашевичу за помощь при подготовке рукописи к публикации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карери Дж. Порядок и беспорядок в структуре материи. – М.: Мир, 1985. – 232 с.
2. Минский М. Фреймы для представления знаний. – М.: Энергия, 1979. – 154 с.
3. Мюррей К., Дермотт С. Динамика Солнечной системы. – М.: Физматлит, 2010. – 588 с.
4. Сафронов В.С. Проблемы образования планет. Происхождение Солнечной системы: сб. науч. трудов /под ред. А.В. Витязева. – М.: Наука, 1983. – С.5-23.
5. Смирнов В.Л. Анализ эволюции дискретных спектров для сложных систем различной природы // Сложные системы. – 2016. – № 2 (19). – С. 70-83.
6. Смирнов В.Л. Формирование параметра порядка при эволюции неспецифической сложной системы // Сложные системы. – 2016. – № 3 (20). – С. 79-92.
7. Смирнов В.Л. Интерпретация комплекса, сформированного в сложной самоорганизующейся системе // Сложные системы. – 2016. – № 4 (21). – С. 86-98.
8. Смирнов В.Л. Формирование инварианта 1/137 в процессе эволюции неспецифической сложной системы // Сложные системы. – 2017. – № 4 (25). – С. 43-56.
9. Смирнов В.Л. Эволюция двух элементов спектра разрешенных состояний в неспецифической сложной системе // Сложные системы. – 2017. – № 4 (25). – С. 57-72.
10. Смирнов В.Л. Формирование и эволюция пространственно-временных характеристик спутников Марса // Сложные системы. – № 4 (29). – 2018. – С. 25-43.
11. Смирнов В.Л. Расщепление разрешенных состояний в сложной самоорганизующейся системе. Часть I // Сложные системы. – № 2 (31). – 2019. – С. 57-81.
12. Смирнов В.Л. Расщепление разрешенных состояний в сложной самоорганизующейся системе. Часть II // Сложные системы. – № 3 (32). – 2019. – С. 60-83.
13. Фейнман Р. Характер физических законов. – М.: Наука, 1987. – 160 с.
14. Хакен Г. Синергетика. – М.: Мир, 1980. – 383 с.

15. Чечельницкий А.М. Экстремальность, устойчивость, резонансность в астродинамике и космонавтике. – М.: Машиностроение, 1980. – 311 с.

16. Haken H., Knyazeva H. Arbitrariness in Nature: Synergetics and Evolutionary Laws of Prohibition // Journal for General Philosophy of Science. – 2000. – Vol. 31, No. 1. – P. 57-73.

SPLITTING OF ALLOWED STATES IN A COMPLEX SELF-ORGANIZED SYSTEM. PART 3.

Smirnov V.L. (Cand. Sci. (Physics and Mathematics))
St.Petersberg, Russian Federation
VladimirL.Smirnov@yandex.ru

Abstract. The self-organizing system's approaching evolutionary maturity is considered, which allows us to explain the characteristics of their orbits for the four planets of the solar system. The system does not possess any specifics of natural objects and is treated as part of a structure that has boundaries. The structure, in its turn, is represented as a set of relations on the numerical axis and is understood as a network of nodes (the allowed states) and relations between them. The system is formed on the basis of the deployment of a proto-structure, a two-component cyclically organized system of relations, which is treated as primary and is intended for a phased study of the evolution of natural systems. Evolution is understood as a deployment from stage to stage, taking into account the background. The proto-structure defines the spectrum of allowed states for *n* - the order parameter of the system, which subordinates two relative characteristics. As a result of the interaction, the elements of the specified spectrum are split into components and specialize.

Here the feed data are the insights resulting from the analysis of the previous evolution stage, where the splitting of ten n-nodes within one isolated proto-structure cycle is considered. We study four n-nodes, which, as a result of detailing, are represented using approximately 50 positions interacting on the numerical axis. These positions are placed at three levels of the hierarchy: the level of positions n, as well as their splits - the level of shifts *n* relative to the initial positions - the level of small changes. Inter-level connections and the level of shifts are considered in detail, the basis of which are the invariants formed at the previous stage of evolution. An analysis of structural scenarios indicates the key role of shifts at the last stage of evolution.

When applied, each element of the spectrum *n* is interpreted as the relative moment of momentum in the solar system, when it comes to circular motion. Otherwise, any element of the spectrum is split into components, each of them responsible for the distance it is in charge of. The evolutionary maturity of planetary distances and periods of revolution for Jupiter, Saturn, Uranus, and Neptune is discussed. The stability criterion of the final positions *n* is considered.

On average, the model positions of perihelion, aphelion, major and minor semi-axes correspond to the observed distances within $5 * 10^{-5}$%. For the first time from structural positions, it is shown why the orbits of the planets differ so little from circular ones. Model circulation periods on average correspond to those observed within $5 * 10^{-2}$%.

Keywords: evolution, structure, evolution maturity, order parameter, planet orbits, planet orbital periods

REFERENCES

1. Careri G. Order and Disorder in Matter. N.Y.: The Bengamin, Cumings Inc, 1984, 162 p.
2. Minsky M. Frames for knowledge representation. N.Y., Ed. H. Winston, McGraw-Hill, 1975, 76 p.
3. Murray C.D., Dermott S.F. Solar System Dynamics. Cambridge, 2009, 595 p.

4. Safronov V.S. Problemy obrazovanija planet. Proishozhdenie Solnechnoj sistemy [Problems of formation of planets. The origin of the Solar System]. M., Nauka, 1983, pp. 5-23.

5. Smirnov V.L. Analysis of Discrete Spectra of Evolution Paths for Various Complex Systems. *Slozhnye sistemy – The complex systems*, 2016, no. 2 (19), pp. 70-83.

6. Smirnov V.L. Orderparameter Derivation from Evolution of Non-Spesific Complex Sistem. *Slozhnye sistemy – The complex systems*, 2016, no. 3 (20), pp. 79-92.

7. Smirnov V.L. Interpretation of a Complex Formed in Complex Self-Organized System. *Slozhnye sistemy – The complex systems*, 2016, no. 4 (21), pp. 86-98.

8. Smirnov V.L. Formation of 1/137 Invariant During Evolution of Non-Specific Complex Structure. *Slozhnye sistemy – The complex systems*, 2017, no.4 (25), pp. 43-56.

9. Smirnov V.L. Evolution of Two Elements of Allowed States Range in Non-Specific Complex System. *Slozhnye sistemy – The complex systems*, 2017, no. 4 (25), pp. 57-72.

10. Smirnov V.L. Formation and Evolution of Spatiotemporal Properties of the Moons of Mars. *Slozhnye sistemy – The complex systems*, no.4 (29), 2018, pp. 25-43.

11. Smirnov V.L. Splitting of the Alowed States in a Complex Self-organized System. Part I. *Slozhnye sistemy – The complex systems*, no. 2 (31), 2019, pp. 57-81.

12. Smirnov V.L. Splitting of the Alowed States in a Complex Self-organized System. Part II. *Slozhnye sistemy – The complex systems*, no. 3 (32), 2019, pp. 60-83.

13. Feynman R. The Character of physical laws. A series of lectures recorded by the BBC at Cornell University USA. L.: Cox and Wyman LTD, 1965, 173 p.

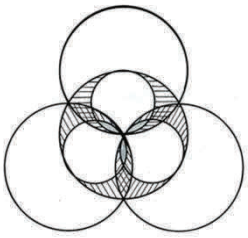
14. Haken H.Synergetics. N. Y.: Springer-Verlag, 1983, 356 p.

15. Chechelnitsky A.M. Extremum, Stability, Resonance in Astrodynamics and Cosmonautics, M., Mashinostroyenie, 1980, 312 p. (Monograph in Russian) (Library of Congress Control Number: 97121007; Name: Chechelnitskii A.M.).

16. Haken H., Knyazeva H. Arbitrariness in Nature: Synergetics and Evolutionary Laws of Prohibition. *Journal for General Philosophy of Science*, 2000, vol. 31, no. 1, pp. 57-73.

ДИСКУССИОННЫЕ АСПЕКТЫ

УДК 165



ЧЕЛОВЕЧЕСТВО КАК СИСТЕМА. ЧАСТЬ 1

Торвич В.В.
Редвуд Сити, США
vtorvich@yahoo.com

Аннотация. Для углублённого понимания процессов, лежащих в основе развития человечества в целом, предлагается подход, при котором возможности для действий людей и человечества включены в рассмотрение, а социальные структуры, и влияние человечества на окружающую среду, исключены из рассмотрения. В известных мне работах указанный подход практически отсутствует. Целью данного исследования является разработка критериев поиска компонент или групп компонент такой системы, выявление их списка, а также рассмотрения динамики развития во времени системы, состоящей из указанных групп компонент. Описаны критерии поиска компонент или групп компонент, которые могут составлять такую систему. Приведен список групп компонент, в который, в частности, входят «Искусственные материалы», «Массовый транспорт» и т.п. Совокупность групп компонент определяет диапазон возможностей для действий людей и человечества, как целого. Проведен анализ изменения во времени предложенного набора групп компонент. Установлено, что спектр названных возможностей с течением времени расширяется и что это расширение реализуется с ускорением.

При поиске групп компонент системы по предложенным критериям использовалась информация из областей знания, которые связаны с развитием технологий, средствами коммуникации, социальной активностью, глобализацией, когнитивными способностями.

Ключевые слова: сложные системы, человечество, история человечества, возможности для действий людей, развитие.

1. ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Человечество является сложной системой. Существуют различные подходы к описанию человечества [2, 9, 14, 18, 22, 24, 25, 30, 31, 50]. Как выглядит система человечества, если включить в её описание возможности для действий людей и человечества и исключить все индивидуальные, социальные, политические, экономические различия, а также влияние человечества на окружающую среду? Мне работы такого рода найти не удалось. Задачей настоящей работы является разработка модели указанной системы, критериев поиска компонент или групп компонент системы, выявление их списка, а также рассмотрение динамики развития во времени системы, состоящей из указанных групп компонент.

2. КОГДА НАЧАЛАСЬ ИСТОРИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

Наша модель системы человечества должна включать в себя наиболее важные компоненты или группы компонент. В противном случае модель системы человечества будет неполной.

Обычно принятым определением предыстории человечества является «период времени до письменных записей» [26]. Согласно этому определению история человечества

началась в 3400 г. до н.э. – 3300 г. до н.э., когда появились первые написанные тексты. Что бы ни случилось до этого времени, это предыстория. Такое определение понятно, поскольку гораздо проще и удобнее исследовать события и факты, для которых существуют письменные записи. Тем не менее, такая периодизация истории оставляет много важных событий вне истории человечества.

Учитывая вышесказанное, имеет смысл отсчитывать начало истории человечества с момента, когда Sapiens стали поведенчески современными людьми. Однако сама эта дата является предметом дебатов и [47, 54] может находиться в диапазоне от 200 до 40 тысяч лет до н.э. Мы будем следовать теории, изложенной в [52] с точки зрения нейробиологии. Гипотеза [52] состоит в том, что развитие поведенческой современности представителями рода *Homo* было связано с приобретением префронтального синтеза (PFS), который является сознательным целенаправленным процессом синтеза новых ментальных образов. Соответственно, мы назвали первую группу ресурсов "Новые Ментальные Образы". Для определённости в качестве даты начала истории человечества мы будем считать подтвержденную [5, 13] дату первого появления искусства с изображением фигур отчасти людей, отчасти животных, т.е. 42000 г. до н.э.

3. МЕТОДИКА

Модель. Предлагаемая модель состоит из абстрактных дискретных компонент, т.е. ресурсов, или групп компонент, т.е. групп ресурсов. Группы компонент, ресурсы и группы ресурсов, создание человечеством ресурса или создание группы ресурсов – это терминология, предложенная в данной статье. Термины "создание ресурса", "появление или возникновение ресурса" и "добавление ресурса в группу ресурсов, а также в набор или арсенал ресурсов" являются взаимозаменяемыми.

Ресурсы. В контексте этой статьи ресурсы – это инструменты, вещи, качества и методы, которые могут быть использованы для достижения людских целей. Существовавшие до начала истории человечества ресурсы будем называть доисторическими ресурсами, а ресурсы, появившиеся после начала истории человечества, просто ресурсами. К доисторическим ресурсам относятся, в частности, индивидуальные ресурсы людей, такие как органы чувств, речь, индивидуальная мобильность и т. п. Под ресурсами в данной работе, за редким исключением, мы подразумеваем "безграничные ресурсы", которые не уменьшаются со временем и по мере использования. Например, ресурс «Массовый водный транспорт» не истощается от того, что кто-то использует плот или катер.

Когда в какой-то момент времени какой-то человек или группа людей впервые создали объект, который отвечает нашим требованиям поиска ресурсов, мы считаем, что человечество создало новый ресурс. Например, мы считаем, что новый ресурс «Массовый водный транспорт» был создан, т.е. добавлен к арсеналу ресурсов человечества, когда кто-то где-то в мире построил первую лодку или плот на двоих или более человек. Дата или период времени, когда конкретный ресурс был создан, и содержание этого ресурса определяются в соответствии с известными литературными данными, которые приведены в ссылках.

Детализация. Сложные системы часто анализируются на макро- или микроуровне, или на обоих уровнях. В нашей модели группы ресурсов и ресурсы являются

макрокомпонентами. К группе ресурсов мы относим те ресурсы, которые конкретизируют различные аспекты объекта описанного в названии группы ресурсов. Например, к группе ресурсов «Массовый транспорт» относятся ресурсы «Массовый водный транспорт», «Массовый наземный транспорт с использованием животных», «Массовый воздушный транспорт», и т.п.

Детализация группы ресурсов – это описание входящих в неё ресурсов. Группа ресурсов обладает собственной динамикой, которая определяется последовательностью создания человечеством ресурсов входящих в эту группу.

Ресурсы, которые появились первыми по времени в группе ресурсов, будем называть первичными ресурсами. Каждая группа ресурсов вначале состоит из одного, а именно первичного, ресурса. Все ресурсы в группе ресурсов, кроме первичного ресурса, будем называть вторичными ресурсами. Последовательность создания человечеством ресурсов, входящих в конкретную группу ресурсов, будем считать экспансией этой группы ресурсов.

Критерии "Долговечность" и "Массовость использования", входящие в предложенный в этой работе набор критериев поиска групп ресурсов и ресурсов, предполагают на этапе поиска учитывать дальнейшую детализацию ресурса, т. е. его развитие, его широкое использование сначала локально, а затем в других местностях, и во многих случаях, глобально. Таким образом, при поиске компонент, отвечающих нашим требованиям, детализация, распространение ресурса и его использование принимаются во внимание. Например, когда мы анализировали с помощью наших критериев объект «Массовый водный транспорт», мы учитывали, что вслед за простыми лодками и плотами, человечество создало корабли, сначала парусные, затем с двигателями и стало использовать корабли в поисковых, миграционных, военных, и т. п. целях.

В то же время если ресурс включён в наш список ресурсов, то как абстрактный компонент он считается нами статическим и неделимым с момента создания этого ресурса, независимо от его дальнейшего развития, распространения и использования. Эта статичность и неделимость обеспечивают независимость модели от социальных и т.п. структур и их локализации и развития. Кроме того, считается, что с момента создания ресурса он принадлежит сразу всему человечеству. Это означает, что в нашей модели человечество рассматривается как единое целое.

Динамика. В предлагаемой модели динамика системы исследуется на двух уровнях. На наименее детализированном уровне, уровне групп ресурсов, динамика проявляется в последовательности создания групп ресурсов, или, соответственно, в последовательности создания первичных ресурсов в группах ресурсов. На наиболее детализированном уровне, уровне ресурсов, динамике модели соответствует последовательность появления всех ресурсов, а не только первичных ресурсов. Обе названные последовательности изначально представлены в данной работе в виде таблиц со ссылками на использованные литературные данные. При дальнейшем анализе исследуемой системы могут быть использованы графики и формулы, базирующиеся на табличных данных.

Уровень абстракции и степень охвата. Уровень абстракции предлагаемой модели можно определить как средний. Компоненты нашей модели более абстрактны, чем компоненты описаний системы человечества, которые используют индивидуальные, социальные, политические, экономические и т.п. детали. Степень охвата сфер активности человечества в нашей модели является глобальной. Мы постарались включить в списки

компонент и групп компонент все известные нам "прорывные" ресурсы и группы ресурсов.

Существуют работы, в которых используется более глубокий уровень абстракции. В большинстве случаев это модели, использующие на микроуровне в качестве компонент мельчайшую "частицу" человечества, т.е. одного человека. Такие модели, в основном, обладают низкой степенью охвата сфер активности человечества. Они обычно ориентируются на отношение один к одному, например влияние роста населения на экономические показатели, окружающую среду и т.п.

Откуда взялись ресурсы. Первый по времени ресурс – это способность создавать новые ментальные образы. Этот ресурс был получен людьми в дар от природы.

Все остальные ресурсы были созданы конкретными людьми. Первый большой плот, первая школа, первый электронный логический вентиль и т. п. были созданы конкретными людьми в конкретной местности в конкретное время. Когда люди их создавали – они называли эти объекты какими-то другими словами на своём локальном во времени и в пространстве языке. Они не думали об этих объектах в терминах "ресурсов", которые введены в этой статье. Во многих случаях мы, к сожалению, не знаем имён этих людей. Обобщённо, однако, мы можем сказать, что эти ресурсы были созданы человечеством.

Наш вклад заключается в следующем. Среди множества объектов, созданных человечеством, отобраны те, которые соответствуют предложенным нами критериям поиска ресурсов и групп ресурсов. Найдены публикации, в основном научные статьи, в которых приведены данные о дате первого использования конкретного ресурса и особенностях специфического варианта этого ресурса при его первом применении. Определено, к какой группе ресурсов конкретный ресурс относится. Конкретному ресурсу и группе ресурсов, если данный ресурс является первичным, присвоено взятое из литературы или сформулированное нами имя.

В данной статье приведена информация о 26 группах ресурсах и о 26 первичных ресурсах. Информацию о других ресурсах из нашего списка ресурсов мы будем публиковать в дальнейшем по мере возможности.

Резюме. История человечества богата огромным количеством локальных в пространстве и во времени подробностей. Это делает чрезвычайно затруднительным построение модели системы человечества, если при этом используются социальные и т. п. детали. Нам не известны модели такой системы с глобальным охватом сфер активности человечества и на глубину всей истории человечества, базирующиеся на учёте социальных структур, политических, экономических и т. п. деталей.

Наша модель описывает систему человечества на более глубоком абстрактном уровне, чем описания, опирающиеся на информацию о социальных, экономических и т.п. параметрах. При этом предлагаемая модель является глобальной по охвату сфер активности человечества. Нам не известны работы по описанию модели системы человечества на таком абстрактном уровне с глобальным охватом активности человечества и временной глубиной охвата на всю историю человечества. Отсутствие зависимости от социальных и т. п. факторов в сочетании с рассмотрением человечества как единого целого и с глобальным охватом деятельности человечества должны позволить выявить глубинные тенденции развития человечества.

Использование приведенных в данной статье ресурсов и групп ресурсов для моделирования системы человечества позволило построить модель с четко определенными

компонентами и разумным количеством таких компонент.

С каждым новым созданным ресурсом человечество расширяет свои возможности действовать. Соответственно, наша модель показывает и позволяет анализировать историю человечества как историю расширения человечеством своих возможностей для действий. Это детальная история в глобальном масштабе, которая разворачивается на протяжении последних 44 тысяч лет. Нам не известны работы по такой истории человечества.

4. КРИТЕРИИ ПОИСКА ГРУПП РЕСУРСОВ И ОТДЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Основные критерии для поиска групп ресурсов.

1. Важность. Разница в качестве группы ресурсов по сравнению со старым ресурсом в той же области должна быть очень существенной.

2. Долговечность: Группа ресурсов, начиная с даты создания группы ресурсов, не должна быть ограничена во времени.

3. Массовость использования. Использование человечеством группы ресурсов должно быть массовым, желательно глобальным с течением времени.

4. Возможность экспансии: во многих случаях должна осуществляться экспансия группы ресурсов в новые области применения с течением временем.

Для поиска отдельных ресурсов используются те же критерии, за исключением критерия 4.

Иногда массовое использование ресурса уменьшается в связи с появлением аналогичного и более эффективного ресурса. Например, ресурс "Массовый наземный транспорт с использованием животных" стал меньше использоваться с появлением ресурса "Массовый наземный транспорт с двигателем".

Каждый конкретный критерий в этом списке имеет большое значение. В таблицах 1 и 2 приведен перечень 26 групп ресурсов и 26 первичных ресурсов. Отметим, что в этом перечне отсутствуют революции, длительные царства или тому подобное потому, что их нельзя считать ресурсами в соответствии с критерием долговечности. Вы просто не могли бы повторить любую революцию снова и снова. Это верно для всех революций, будь то французская революция или сельскохозяйственная революция.

5. СИСТЕМА С ГРУППАМИ РЕСУРСОВ.

Рассмотрим таблицу 1, где представлен набор выявленных в соответствии с критериями поиска групп ресурсов. Дату возникновения группы ресурсов принимаем как первую известную ученым дату использования первичного ресурса в этой группе.

В таблице 1 представлено выявленные в соответствии с критериями поиска группы ресурсов, которые появились за время рассматриваемой истории человечества. В колонке "Группа Ресурсов" жирным шрифтом приведено предлагаемое название таких групп ресурсов. В колонке "Время появления" приведена первая известная дата использования первичного ресурса в этой конкретной группе ресурсов. Эта дата извлечена из научной работы, которая названа в ссылке, упомянутой в колонке "Лит.".

Таблица 1. *Хроника появления групп ресурсов в истории человечества*

	Группа Ресурсов	Время появления	Лит.
1	**Новые Ментальные Образы**	42000 г. до н.э.	5, 13
2	**Искусство и музыка**	42000 г. до н.э.	5, 13
3	**Искусственные материалы, вещества, организмы**	34000 г. до н.э.	7, 29
4	**Одомашненные растения и животные**	10500 г. до н.э.	10
5	**Массовый транспорт**	8040-2345 гг. до н.э.	6, 37
6	**Люди как ресурс в массовом масштабе**	4000 г. до н.э.	8
7	**Текст**	3400- 3300 гг. до н.э.	21
8	**Инструменты, приборы, машины из искусственных материалов**	3400-3100 гг. до н.э.	48
9	**Торговля с посредником**	3300-3000 гг. до н.э.	16, 38
10	**Война**	2700 г. до н.э.	33
11	**Внешнее хранение и обработка информации**	2500 г. до н.э.	28
12	**Транснациональные организации**	2250 г. до н.э.	49
13	**Люди и общества как объекты изучения**	2100 г. до н.э.	17
14	**Массовое образование**	1950-1900 гг. до н.э.	40, 45
15	**Независимые каналы связи**	550 г. до н.э.	11
16	**Силы природы и квантовая физика**	280 г. до н.э.	20, 53, 55
17	**Оружие массового урона**	660 г.	12, 39
18	**Массовое производство**	1320 г.	19
19	**Средства массовой информации**	1439 г.	34
20	**Технологии за пределами человеческих чувств**	1590 г.	15, 51
21	**Научный метод и информационные технологии**	1642,1687 г. г.	23, 32, 36, 44
22	**Природные ресурсы в массовом масштабе**	1750 г.	43
23	**Вовлеченность женщин в активности человечества**	1893 г.	3
24	**Рост продолжительности жизни**	1900 г.	4, 41, 56
25	**Цифровые технологии**	1924 г.	42
26	**Искусственный интеллект (ИИ)**	1956 г.	27, 35, 46

Перечисленные в Таблице 1 группы ресурсов представляют такие области деятельности как коммуникация, искусство, музыка, познание, технологии, социальная

активность, глобализация, изучение людей, методология, продолжительность жизни.

В таблице 1 представлена информация о 26 группах ресурсов, созданных человечеством за 44 тысячи лет истории. За 44 тысячи лет человечество смогло расширить этот набор групп ресурсов с одной группы до 26 групп ресурсов. Для понимания динамики развития человечества с точки зрения наличия набора возможных действий можно использовать таблицу 1 или построенные с использованием информации из таблицы 1 и приведенные в следующей главе графики.

6. ДИНАМИКА СИСТЕМЫ С ГРУППАМИ РЕСУРСОВ

На рисунках 1-3 динамика развития человечества представлена как изменение набора групп ресурсов с течением времени.

Отметим, что в данной статье при количественном анализе предложенной модели используются только известные учёным факты наличия определённого первичного ресурса и даты появления этого первичного ресурса. Названия первичного ресурса, соответствующей группы ресурсов в количественном анализе не используются. Рисунки 1-3 показывают нелинейную динамику развития системы состоящей из групп ресурсов.

Данные на этих рисунках указывают на три временных периода с различными темпами роста числа групп ресурсов. Первый период, с графиком на рис.1, с 42000 г. до н.э. до 10500 г. до н.э., характеризуется очень медленным ростом. Одна группа ресурсов добавлялась в среднем раз в 21 тысячу лет. Во втором периоде, с графиком на рис.2, с 10500 г. до н.э до 1600 г. рост был намного быстрее линейного роста. За 11600 лет добавилось 16 групп ресурсов. В третьем периоде, который является частью графика на рис. 3, во второй половине второго тысячелетия нашей эры, начался ещё более быстрый рост числа групп ресурсов. За 400 лет добавилось 8 групп ресурсов.

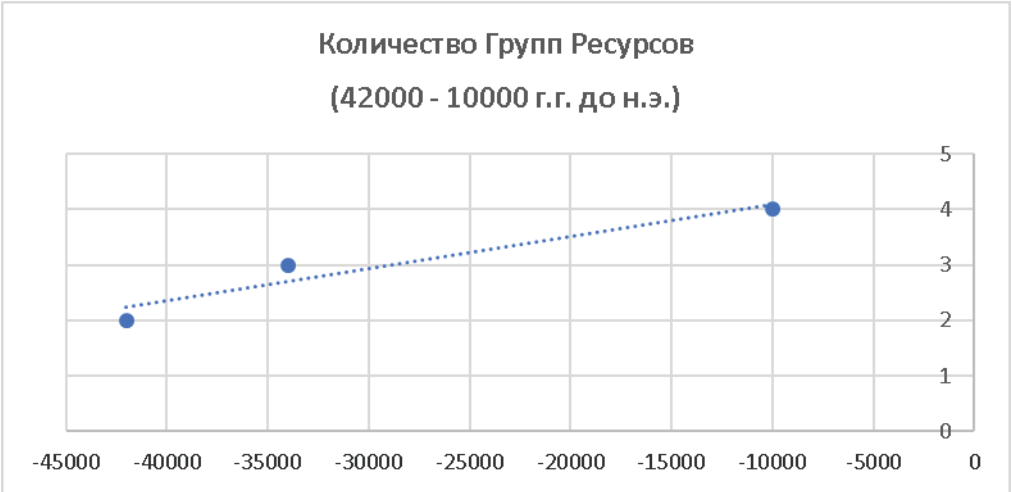


Рис. 1. *Количество групп ресурсов, созданных в период с 42000 г. до н.э. до 10500 г. до н.э. Использованы данные из таблицы 1. По горизонтали - тысячи лет, по вертикали - количество созданных групп ресурсов. Пунктирная линия - линейный рост.*

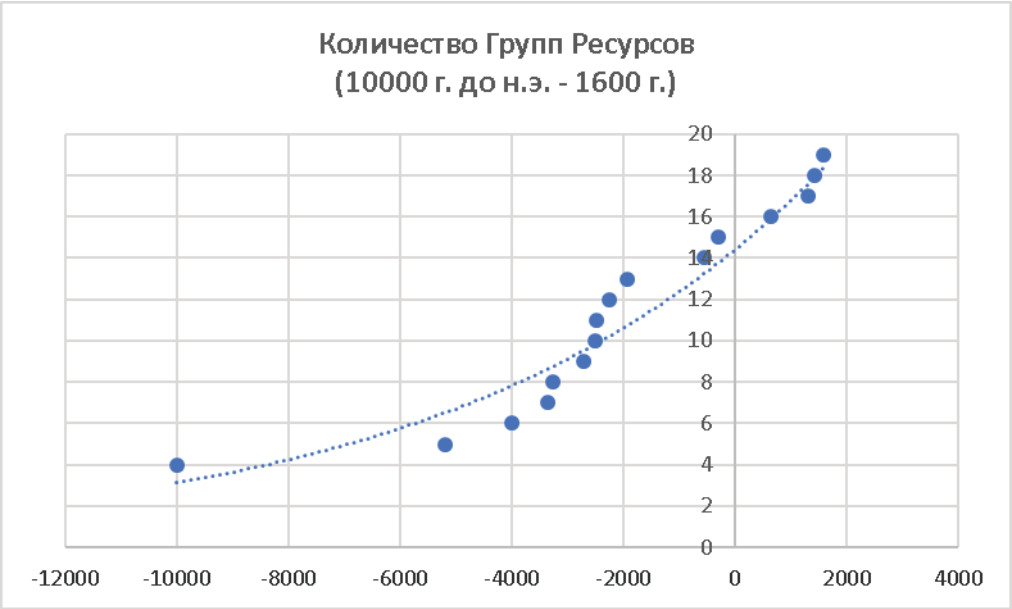


Рис. 2. *Количество групп ресурсов, созданных в период с 10500 г. до н.э. до 1600 г. Использованы данные из таблицы 1. По горизонтали - тысячи лет, по вертикали - количество созданных групп ресурсов.*

Рис. 3. *Количество групп ресурсов, созданных в период с 10500 г. до н.э. до 2000 г. Использованы данные из таблицы 1. По горизонтали - тысячи лет, по вертикали - количество созданных групп ресурсов.*

Детальный анализ динамики развития системы человечества, которая состоит из групп ресурсов, будет проведен в следующей статье.

Известно, что накопление разнообразия в сложной системе ведёт к увеличению её адаптивности [1]. Наша модель системы с группами ресурсов показывает, что с течением времени количество групп ресурсов, составляющих систему человечества, возрастает, что приводит к накоплению разнообразия в этой системе. Отметим также, что сами группы ресурсов разительно отличаются друг от друга.

7. СИСТЕМА С РЕСУРСАМИ

Рассмотрим таблицу 2, где представлена известная учёным информация по ресурсам на момент появления групп ресурсов, т.е. информация по первичным ресурсам. Таблицы 1 и 2 дополняют друг друга.

Таблица 2. *Хроника появления первичных ресурсов в истории человечества*

	Первичный ресурс (Как реализован, Где)	**Группа ресурсов**	**Время появления**	**Лит.**
1	**Представленный** (средствами искусства) **образ несуществующего на Земле объекта из группы гибридов** (частично человек и частично животное, Индонезия)	Новые Ментальные Образы	42000 г. до н.э.	5, 13
2	**Символическое искусство с изображением гибридов** (частично человек и частично животное, наскальная живопись, Индонезия)	Искусство и музыка	42000 г. до н.э.	5, 13
3	**Текстиль** (Первый материал, использованный в текстиле, Грузия)	Искусственные материалы, вещества, организмы	34000 г. до н.э.	7 29
4	**Одомашненные животные** (Коровы, Месопотамия)	Одомашненные растения и животные	10500 г. до н.э.	10
5	**Массовый водный транспорт** (плот, Египет или лодка, Европа)	Массовый транспорт	8040-2345 гг. до н.э.	6, 37
6	**Принудительный труд пленных** (первый рисунок с работающими пленными, Шумер)	Люди как ресурс в массовом масштабе	4000 г. до н.э.	8
7	**Письменность** (первые письмена, Шумер)	Текст	3400- 3300 гг. до н.э.	21
8	**Инструмент** (медный топор, Италия)	Инструменты, приборы, машины из искусственных материалов	3400-3100 гг. до н.э.	48
9	**Товарные деньги** (ракушки каури в Китае, шекель в Шумере)	Торговля с посредником	3300-3000 гг. до н.э.	16, 39
10	**Война с использованием оружия** (Война между Шумером и Эламом)	Война	2700 г. до н.э.	33
11	**Библиотека** (Храмовая библиотека с глиняными табличками, Ирак)	Внешнее хранение и обработка информации	2500 г. до н.э.	28
12	**Империя** (Аккадская империя, Месопотамия)	Транснациональные организации	2250 г. до н.э.	49
13	**Эпическая поэма** ("Гильгамеш", Месопотамия)	Люди и общества как объекты	2100 г. до н.э.	17

		изучения		
14	**Школа** (Школа для переписчиков, Египет)	Массовое образование	1950-1900 гг. до н.э.	40, 45
15	**Почта** (Почтовая система с постами смены лошадей, Персидская империя)	Независимые каналы связи	550 г. до н.э.	11
16	**Гравитация** (водяные мельницы, Турция, Северная Африка)	Силы природы и квантовая физика	280 г. до н.э.	20, 53, 55
17	**Средства уничтожения кораблей в море** ("Греческий огонь", Греция)	Оружие массового урона	660 г.	12, 39
18	**Стандартизированные детали в массовом производстве** (Массовое производство кораблей, Венеция, Италия)	Массовое производство	1320 г.	19
19	**Технология массовой печати** (Европейский тип печатающего пресса, Гуттенберг, Германия)	Средства массовой информации	1439 г.	34
20	**Инструмент для рассмотрения деталей, не видимых невооружённым глазом** (микроскоп, Голландия)	Технологии за пределами человеческих чувств	1590 г.	15, 51
21	**Калькулятор** (Механический Калькулятор, Б. Паскаль, Франция) **и Научный метод в физике** (И. Ньютон, Англия)	Научный метод и информационные технологии	1642 и 1687 г. г.	23, 32, 36, 44
22	**Увеличение масштабов добычи полезных ископаемых** (угля - на 75% с 1700 г. - мировое производство)	Природные ресурсы в массовом масштабе	1750 г.	43
23	**Признание права женщин голосовать** (Новая Зеландия)	Вовлеченность женщин в активности человечества	1893 г.	3
24	**Увеличение ожидаемой продолжительности жизни (**на 12% с 1800 г. - средняя по всему миру)	Рост продолжительности жизни	1900 г.	4, 41, 56
25	**Электронный логический вентиль** (В. Боте, Германия)	Цифровые технологии	1924 г.	42
26	**Объединение участников работ по ИИ** (Конференция по ИИ, определившая для ИИ имя, миссию, первый успех и основных игроков, Дартмут, США)	Искусственный интеллект (ИИ)	1956 г.	27, 35, 46

Данная таблица представляет ресурсы на том этапе анализа, когда экспансия групп ресурсов еще не рассматривалась.

В колонке "Первичный Ресурс" жирным шрифтом приведено предлагаемое название первичного ресурса. Там же обычным шрифтом в скобках приведены известные

по научным публикациям место появления специфического варианта этого ресурса и название этого специфического варианта ресурса. В колонке "Группа Ресурсов" приведено название группы ресурсов, к которой этот ресурс отведен в нашей модели. В колонке "Время появления" зафиксирована первая известная дата использования первичного ресурса в конкретной группе ресурсов. Эта дата извлечена из научной работы, которая названа в ссылке, упомянутой в колонке "Лит.".

Данная таблица представляет систему человечества, состоящую только из первичных ресурсов. Выше отмечено, что дата возникновения групп ресурсов определяется нами по дате возникновения первичного ресурса в этих группах. Поэтому динамика системы с первичными ресурсами идентична динамике системы с групповыми компонентами, которая была рассмотрена выше.

Отметим, что рассмотренная система развилась из 1 - 2 начальных компонент.

8. КРАТКИЕ ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе предложена модель системы человечества, в которой системообразующими элементами являются абстрактные дискретные компоненты, т.е. ресурсы или группы ресурсов. Определены критерии для поиска таких групп ресурсов - важность, долговечность, массовость использования, возможность экспансии в новые области применения. Предложено 26 групп ресурсов отвечающих критериям поиска. Указанные группы ресурсов охватывают чрезвычайно широкий спектр областей деятельности человечества. Эти группы ресурсов являются объективными параметрами, характеризующими возможности человечества действовать. Они не связаны с конкретными социальными структурами, политикой, экономикой, моралью и влиянием человечества на окружающую среду.

Динамика развития системы человечества представлена в компактном количественном виде как изменение с течением времени набора образующих эту систему групп ресурсов или первичных ресурсов. Это представление в совокупности с таблицами 1 и 2 позволяет в каждый момент истории человечества знать количество и специфику созданных до этого момента групп ресурсов. Динамика появления групп ресурсов представлена в графическом виде. Показано, что темп увеличения количества групп ресурсов, ускорился во второй половине второго тысячелетия нашей эры.

Основные достижения.

1. Предложена модель системы человечества, в которую включены ресурсы и группы ресурсов, а индивидуальные, социальные, политические, экономические, географические особенности и влияние человечества на окружающую среду исключены. Предложены критерии для поиска компонент и групп компонент – ресурсов и групп ресурсов. Обработан большой объём литературных данных, что позволило на основе критериев выявить 26 групп ресурсов.
2. Выявленный материал позволил представить динамику развития человечества на протяжении всей его истории в виде графиков. Эта динамика лежит в основе той истории, которую мы все знаем - истории людских действий и событий.
3. Показано, что при использовании предложенных групп ресурсов развитие системы является нелинейным. Показано, что темп роста количества групп ресурсов со временем ускорился.

4. Установлено, что человечество движется в направлении увеличения арсенала групп ресурсов, т.е. увеличения способности человечества действовать.

Мы намереваемся продолжить работу с количественной моделью.

Автор выражает глубокую признательность В.Л. Смирнову за помощь при подготовке рукописи к публикации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов О.П. Размышления о категории сложность и теории сложных систем // Сложные системы. – 2019. – № 3 (32). – С. 25-66.

2. Куркина Е.С., Князева Е.Н. Структурные трансформации в процессе эволюции общества: От иерархических структур к сетевым // Сложные системы. – 2017. – № 4 (25). – С. 4-26.

3. Aikman C.C. History, Constitutional Archived April 25, 2016, at the Wayback Machine' in McLintock, A.H. (ed). An Encyclopaedia of New Zealand, 3 vols. – Wellington, NZ: R.E. Owen, Government Printer, 1966. – Vol. 2. – P. 67-75.

4. Angel J.L."The bases of paleodemography // American Journal of Physical Anthropology. – 1969. – No. 30 (3). – P. 427-437. – DOI:10.1002/ajpa.1330300314.

5. Aubert M., Lebe, R., Oktaviana, A.A. et al. Earliest hunting scene in prehistoric art // Nature. – 2019. – No. 576 (7787). – P. 442-445. – DOI:10.1038/s41586-019-1806-y.

6. Badawy A. The Tomb of Nyhetep-Ptah at Giza and the Tomb of ʿAnkhmʿahor at Saqqara, Los Angeles. // University of California Publications: Occasional Papers. – 1978. – No. 11. – P. 1-61.

7. Balter M. Clothes Make the (Hu)Man // Science. – 2009. – Vol. 325, No. 5946. – P. 1329. – DOI:10.1126/science.325_1329a. PMID 19745126.

8. Bales K. Understanding Global Slavery: A Reader. – 2005. – P. 28. – ISBN 9780520245075.

9. Bellomo N., Marsan G. A., Tosin A. Complex Systems and Society: Modeling and Simulation // Springer. – Verlag New York, 2013 – P. 1-81.

10. Bollongino R., Burger J., Powell A. et al. Modern Taurine Cattle descended from small number of Near-Eastern founders // Molecular Biology and Evolution. – 2012. – No. 29 (9). – P. 2101-4. – DOI: 10.1093/molbev/mss092.

11. Briant P. From Cyrus to Alexander; a History of the Persian Empire // Eisenbrauns. – 2006. – P. 62-64. – ISBN 9781575061207.

12. Cheronis N.D. Chemical warfare in the middle ages. Kallinikos' "prepared fire". – J. Chem. Educ. – 1937. – Vol. 14, No. 8. – P. 360. – URL: https://doi.org/10.1021/ed014p360.

13. Charles Q.C. Humanity's Oldest Cave Art Shows Shape-Shifting Supernatural Hunters. –Live Science, 2019. – URL: https://www.livescience.com/oldest-rock-art-supernatural-beings.htm.

14. Corning P. Synergy in evolution and the fate of humankind. – Institute for the Study of Complex Systems. – Keynote Address Prepared for the 30th Anniversary International Conference on Systems Research. – Informatics and Cybernetics, 2018. – URL: https://complexsystems.org/453/synergy-in-evolution-and-the-fate-of-humankind.

15. Cox L. Who Invented the Microscope? – Live Science, 2013. – URL: https://www.livescience.com/39649-who-invented-the-microscope.htm.

16. Cripps E.L. The Structure of Prices in the Neo-Sumerian Economy (I). – Barley:Silver Price Ratios, 2017. – URL: https://cdli.ucla.edu/files/publications/cdlj2017_002.pdf.

17. Dalley S. ed. Myths from Mesopotamia: Creation, the Flood, Gilgamesh, and Others. – Oxford University Press, 2000. – P. 41-42. – ISBN 978-0-19-953836-2.

18. Jared M. Diamond, Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies. – W.W. Norton & Company. – Revised edition, 2005. – P. 1-480. – ISBN 978-0393061314.

19. Dolinsky A. Inventory Management History Part Three Venetian Arsenal - ahead of their

time. – Almyta Systems, 2017. – URL:
http://www.almyta.com/inventory_management_history_3.asp.

20. Donners K., Waelkens M., Deckers J. Water Mills in the Area of Sagalassos: A Disappearing Ancient Technology // Anatolian Studies. – 2002. – No. 52. – P. 11. – DOI:10.2307/3643076, JSTOR 3643076.

21. Fagan B.M., Beck C., ed. The Oxford Companion to Archaeology. – Oxford University Press, 1996. – P. 762. – ISBN 978-0-19-507618-9.

22. Finnigan J.J. Society as a complex system: can we find a safe and just operating space for humanity? // Journal & Proceedings of the Royal Society of New South Wales. – 2017. – Vol. 150. – Part 1. – P. 31-47. – ISSN 0035-9173/17/010031-17.

23. Freiberger P.A., Swaine M.R. Pascaline. – Encyclopaedia Brittanica. – URL: https://www.britannica.com/technology/Pascaline.

24. Grinin L., Korotayev A.V. Origins of Globalization in the Framework of the Afroeurasian World-System History // Journal of Globalization Studies. – 2014. – № 5 (1). – P. 32-64.

25. Harari Y.N. Sapiens: A Brief History of Humankind. – Harper, 2015. – 1st edition. – P. 1-464. – ISBN 978-0-062316110.

26. HISTORY.com - HISTORY, URL: https://www.history.com/topics/pre-history.

27. Kline R.R. Cybernetics, Automata Studies and the Dartmouth Conference on Artificial Intelligence. – IEEE Annals of the History of Computing, 2011. – P. 67-75. – IEEE Computer Society.

28. Kramer S.N. History Begins at Sumer: Thirty-Nine Firsts in Recorded History. – University of Pennsylvania Press, 2018. – 3rd Edition. – P. 250-254. – ISBN-13: 978-0812212761.

29. Kvavadze E., Bar-Yosef O., Belfer-Cohen A. et al. 30.000-Year-Old Wild Flax Fibers // Science. – 2009. – № 325 (5946). – P. 1359. – DOI:10.1126/science.1175404.

30. Leydesdorff L. Is Society a Self-Organizing System? // Journal for Social and Evolutionary Systems. – 1993. – No. 16. – P. 331-49.

31. Maldonado C. History and Complexity, Philosophical Alternatives // Philosophical Alternatives. – No. 2 – 2007. – P. 129-151. – URL:
https://www.researchgate.net/publication/264957479_History_and_Complexity

32. Marguin J. Histoire des instruments et machines à calculer, trois siècles de mécanique pensante 1642–1942 (in French). – Hermann, 1994. – P. 48. – ISBN 978-2-7056-6166-3.

33. Mark J.J. War in Ancient Times. – Ancient History Encyclopedia. – Last modified, 2009. – URL: https://www.ancient.eu/war/

34. Meggs P.B. A History of Graphic Design. – John Wiley & Sons, Inc., 1998. – P. 58-69. – ISBN 0-471-29198-6.

35. Moor J. The Dartmouth College Artificial Intelligence Conference: The Next Fifty years. // AI Magazine. – 2006. – Vol. 27, No. 4. – P. 87-9.

36. Newton I. Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (“Mathematical Principles of Natural Philosophy”). – London, 1687. – Cambridge, 1713. – London, 1726. – P. 1-405

37. Oudste bootje ter wereld kon werkelijk varen. Leeuwarder Courant (in Dutch) // ANP. – 12 April 2001. Retrieved December 4, 2011.

38. Peng K., Zhu Y. New Research on the Origin of Cowries in Ancient China // Sino-Platonic Papers. – 1995. – No. 68. – P. 1-30.

39. Pryor J.H., Jeffreys E.M. The Age of the ΔΡΟΜΩΝ: The Byzantine Navy ca. 500–1204. Brill Academic Publishers, 2006. – P. 607-609. – ISBN 978-90-04-15197-0.

40. Quirke S. Egyptian Literature: 1800 BC, Questions and Readings. – Golden House Publications, 2004. – P. 121. – ISBN-13: 978-0954721862.

41. Riley J.C. Estimates of Regional and Global Life Expectancy, 1800–2001. // Population and Development Review. – 2005. – Vol. 31, № 3. P. 537–543.

42. Sanchez J., Canton M.P. Microcontroller Programming: The Microchip PIC. – CRC Press, 2006. – 1 edition. – P. 1-30.

43. Simmons J., Wolfgram R. Zack "Doughnut". Natural Resources during the Industrial Revolution. Updated 6 March 2014. – URL: https://prezi.com/nuou4gww7bfx/natural-resources-during-the-industrial-revolution/

44. Smith G. Newton's Philosophiae Naturalis Principia Mathematica. – The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Edward N. Zalta (ed.), 2008. – URL: https://plato.stanford.edu/entries/newton-philosophy/

45. Smoot S.O. Notes on the Satire of the Trades. – Middle Egyptian texts, (NMC1202). – Winter 2018 Semester, Academia. – P. 1-14.

46. Solomonoff R.J. The Time Scale of Artificial Intelligence; Reflections on Social Effects // Human Systems Management. – 1985. – Vol. 5. – P. 149-153.

47. Soressi M. Late Mousterian lithic technology. Its implications for the pace of the emergence of behavioural modernity and the relationship between behavioural modernity and biological modernity. in L. Backwell et F. d'Errico (eds.) From Tools to Symbols. – Johanesburg: University of Witswatersand Press, 2005. – P. 389-417. – ISBN 1868144178.

48. Squires N. Copper axe owned by Neolithic hunter Ötzi the Iceman came all the way from Tuscany. // The Telegraph. (7 July 2017), Archived from the original on 7 November 2017. Retrieved 6 February 2020. – URL: https://www.telegraph.co.uk/news/2017/07/07/copper-axe-owned-neolithic-hunter-otzi-iceman-came-way-tuscany.

49. Taagepera R. Size and Duration of Empires: Growth-Decline Curves, 3000 to 600 B.C. // Social Science Research. – 1978. – No. 7 (2). – P. 182-189.

50. Van der Leeuw S. Complex Systems Theory, Sustainability, and Innovation. Global Institute of Sustainability, Arizona State University's Julie Ann Wrigley Global, July 8, 2016. – URL: https://sustainability.asu.edu/media/wrigley-lecture-series/complex-systems-theory.

51. Van Helden A. Sven Dupré. Rob van Gent. // The Origins of the Telescope. – Amsterdam: University Press, 2010. – No. 43. – P. 32-36. – ISBN 978-90-6984-615-6.

52. Vyshedskiy A. Development of behavioral modernity by hominins around 70,000 years ago was associated with simultaneous acquisition of a novel component of imagination, called prefrontal synthesis, and conversion of a preexisting rich-vocabulary non-recursive communication system to a fully recursive syntactic language, Research Ideas and Outcomes, April 17, 2019. – DOI: 10.3897/rio.5.e38546. – URL: https://sustainability.asu.edu/media/wrigley-lecture-series/complex-systems-theory/

53. Wikander Ö. The Water-Mill. – in Wikander Ö. (ed.). Handbook of Ancient Water Technology, Technology and Change in History. 2, Leiden: Brill, 2000. – P. 396f. – ISBN 90-04-11123-9.

54. Wilford J.N. When Humans Became Human. – URL: https://www.nytimes.com/2002/02/26/science/when-humans-became-human.html.

55. Wilson A. Water-Power in North Africa and the Development of the Horizontal Water-Wheel // Journal of Roman Archaeology. – 1995. – № 8. – P. 7f.

56. URL: https://datasets.iisg.amsterdam/dataset.xhtml?persistentId=hdl:10622/LKYT53.

HUMANKIND AS A SYSTEM. PART 1

Torvich V.V.
Redwood City, USA
vtorvich@yahoo.com

Abstract. For an in-depth understanding of the processes underlying the development of mankind as a whole, an approach is proposed in which the opportunities for actions of people and humanity are included in the consideration, and social structures, as well as the impact of mankind on the environment, are excluded from consideration. In the works known to me, this approach is practically absent. The purpose of this study is to develop criteria for the search for components or groups of components of such a system, identify their list, and also consider the dynamics of development over time of a system consisting of these groups of components. The search criteria for components or groups of components that may constitute such a system are described. The list of groups of components is given, which, in particular, includes “Man-made materials”, “Mass transport”, etc. The totality of groups of components determines the range of opportunities for the actions of people and humanity as a whole. An analysis was made of the change in time of the proposed set of groups of components. It has been established that the range of these opportunities expands over time and that this expansion is realized with acceleration.

When searching for groups of components of the system according to the proposed criteria, information was used from areas of knowledge that are associated with the development of technologies, means of communication, social activity, globalization, and cognitive abilities.

Keywords: complex systems, humankind, history of mankind, opportunities for human actions, development.

REFERENCES

1. Ivanov O.P. Reflections on the category complexity and the theory of complex systems. *Slozhnye sistemy – The complex systems*, 2019, no. 3(32), pp. 25-66.

2. Kurkina E.S., Knyazeva H.N. Structural transformations in the process of evolution of society: From hierarchical structures to network ones. *Slozhnye sistemy – The complex systems*, 2017, no. 4 (25), pp.4-26.

3. Aikman C.C. History, Constitutional Archived April 25, 2016, at the Wayback Machine' in McLintock, A.H. (ed). An Encyclopaedia of New Zealand, 3 vols, Wellington, NZ: R.E. Owen, Government Printer, 1966, vol. 2, pp. 67-75.

4. Angel J.L. The bases of paleodemography. *American Journal of Physical Anthropology,* 1969, no. 30 (3), pp. 427-437. doi:10.1002/ajpa.1330300314.

5. Aubert M., Lebe R., Oktaviana A.A. et al. Earliest hunting scene in prehistoric art. *Nature,* 2019, no. 576 (7787), pp. 442-445. doi:10.1038/s41586-019-1806-y.

6. Badawy A. The Tomb of Nyhetep-Ptah at Giza and the Tomb of ʿAnkhmʿahor at Saqqara, Los Angeles. University of California Publications: Occasional Papers, 1978, no. 11, pp. 1-61.

7. Balter M. Clothes Make the (Hu)Man. *Science,* 2009, vol. 325, no. 5946, P. 1329. doi:10.1126/science.325_1329a. PMID 19745126.

8. Bales K. Understanding Global Slavery: A Reader, 2005, P. 28. ISBN 9780520245075.

9. Bellomo N., Marsan G.A., Tosin A. Complex Systems and Society: Modeling and Simulation. *Springer*,.Verlag New York, 2013, pp. 1-81.

10. Bollongino R., Burger J., Powell A. et al. Modern Taurine Cattle descended from small number of Near-Eastern founders. *Molecular Biology and Evolution,* 2012, no. 29 (9), pp. 2101-4. DOI: 10.1093/molbev/mss092.

11. Briant P. From Cyrus to Alexander; a History of the Persian Empire. Eisenbrauns, 2006, pp. 62-64. ISBN 9781575061207.

12. Cheronis N.D. Chemical warfare in the middle ages. Kallinikos' "prepared fire". – J. Chem.

Educ., 1937, vol. 14, no. 8, pp. 360. URL: https://doi.org/10.1021/ed014p360.

13. Charles Q.C. Humanity's Oldest Cave Art Shows Shape-Shifting Supernatural Hunters, Live Science, 2019. URL:https://www.livescience.com/oldest-rock-art-supernatural-beings.htm.

14. Corning P. Synergy in evolution and the fate of humankind. Institute for the Study of Complex Systems. Keynote Address Prepared for the 30th Anniversary International Conference on Systems Research. Informatics and Cybernetics, 2018. URL: https://complexsystems.org/453/synergy-in-evolution-and-the-fate-of-humankind.

15. Cox L. Who Invented the Microscope? Live Science, 2013. URL: https://www.livescience.com/39649-who-invented-the-microscope.htm.

16. Cripps E.L. The Structure of Prices in the Neo-Sumerian Economy (I). Barley:Silver Price Ratios, 2017. URL: https://cdli.ucla.edu/files/publications/cdlj2017_002.pdf.

17. Dalley S. ed. Myths from Mesopotamia: Creation, the Flood, Gilgamesh, and Others. Oxford University Press. 2000, pp. 41-42. ISBN 978-0-19-953836-2.

18. Jared M. Diamond, Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies. W.W. Norton & Company. Revised edition, 2005, pp. 1-480. ISBN 978-0393061314.

19. Dolinsky A. Inventory Management History Part Three Venetian Arsenal - ahead of their time. Almyta Systems, 2017. URL: https://www.livescience.com/39649-who-invented-the-microscope.htm.

20. Donners K., Waelkens M., Deckers J. Water Mills in the Area of Sagalassos: A Disappearing Ancient Technology. Anatolian Studies. 2002, no. 52. P. 11. doi:10.2307/3643076, JSTOR 3643076.

21. Fagan B.M., Beck C., ed. The Oxford Companion to Archaeology. Oxford University Press. 1996, P. 762. ISBN 978-0-19-507618-9.

22. Finnigan J.J. Society as a complex system: can we find a safe and just operating space for humanity? *Journal & Proceedings of the Royal Society of New South Wales*, 2017, vol. 150, Part 1, pp. 31-47. ISSN 0035-9173/17/010031-17.

23. Freiberger P.A., Swaine M.R. Pascaline. Encyclopaedia Brittanica. URL: https://www.britannica.com/technology/Pascaline.

24. Grinin L., Korotayev A.V. Origins of Globalization in the Framework of the Afroeurasian World-System History. *Journal of Globalization Studies*, 2014, no. 5 (1), pp. 32-64.

25. Harari Y.N. Sapiens: A Brief History of Humankind. Harper. 1st edition. 2015, pp. 1-464. ISBN 978-0-062316110.

26. HISTORY.com – HISTORY. URL: https://www.history.com/topics/pre-history.

27. Kline R.R. Cybernetics, Automata Studies and the Dartmouth Conference on Artificial Intelligence. *IEEE Annals of the History of Computing*, 2011, pp. 67-75. IEEE Computer Society.

28. Kramer S.N. History Begins at Sumer: Thirty-Nine Firsts in Recorded History. 2018. University of Pennsylvania Press. 3rd Edition. pp. 250-254. ISBN-13: 978-0812212761.

29. Kvavadze E., Bar-Yosef O., Belfer-Cohen A. et al. 30.000-Year-Old Wild Flax Fibers. *Science*, 2009, no. 325 (5946). P. 1359. doi:10.1126/science.1175404.

30. Leydesdorff L. Is Society a Self-Organizing System? *Journal for Social and Evolutionary Systems*, 1993, no. 16, pp. 331-49.

31. Maldonado C. History and Complexity, Philosophical Alternatives. *Philosophical Alternatives,* 2007, no. 2, pp. 129-151. URL:
https://www.researchgate.net/publication/264957479_History_and_Complexity

32. Marguin J. Histoire des instruments et machines à calculer, trois siècles de mécanique pensante 1642–1942 (in French). Hermann, 1994. P. 48. ISBN 978-2-7056-6166-3.

33. Mark J.J. War in Ancient Times. Ancient History Encyclopedia. Last modified, 2009. URL: https://www.ancient.eu/war/

34. Meggs P.B. A History of Graphic Design. John Wiley & Sons, Inc., 1998, pp. 58-69. ISBN 0-471-29198-6.

35. Moor J. The Dartmouth College Artificial Intelligence Conference: The Next Fifty years, *AI Magazine*, 2006, vol. 27, no. 4, pp. 87-9.

36. Newton I. Philosophiae Naturalis Principia Mathematica ("Mathematical Principles of Natural Philosophy"). London, 1687. Cambridge, 1713. London, 1726. pp. 1-405.

37. Oudste bootje ter wereld kon werkelijk varen. Leeuwarder Courant (in Dutch). *ANP*, 12 April 2001. Retrieved December 4, 2011.

38. Peng K. and Zhu Y. New Research on the Origin of Cowries in Ancient China. *Sino-Platonic Papers*, 1995, no. 68, pp. 1-30.

39. Pryor J.H., Jeffreys E.M. The Age of the ΔΡΟΜΩΝ: The Byzantine Navy ca. 500–1204. Brill Academic Publishers, 2006, pp. 607-609. ISBN 978-90-04-15197-0.

40. Quirke S. Egyptian Literature: 1800 BC, Questions and Readings. Golden House Publications, 2004, P. 121. ISBN-13: 978-0954721862.

41. Riley J.C. Estimates of Regional and Global Life Expectancy, 1800–2001. Issue Population and Development Review. Population and Development Review, 2005, vol. 31, no. 3, pp. 537-543.

42. Sanchez J., Canton M.P. Microcontroller Programming: The Microchip PIC. CRC Press. 2006. 1 edition, pp. 1-30.

43. Simmons J., Wolfgram R. Zack "Doughnut". Natural Resources during the Industrial Revolution. Updated 6 March 2014. URL: https://prezi.com/nuou4gww7bfx/natural-resources-during-the-industrial-revolution/

44. Smith G. Newton's Philosophiae Naturalis Principia Mathematica. The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Edward N. Zalta (ed.), 2008. URL: https://plato.stanford.edu/entries/newton-philosophy/

45. Smoot S.O. Notes on the Satire of the Trades. Middle Egyptian texts, (NMC1202). Winter 2018 Semester, Academia. pp. 1-14.

46. Solomonoff R.J. The Time Scale of Artificial Intelligence; Reflections on Social Effects. *Human Systems Management,* 1985, vol. 5, pp. 149-153.

47. Soressi M. Late Mousterian lithic technology. Its implications for the pace of the emergence of behavioural modernity and the relationship between behavioural modernity and biological modernity. in L. Backwell et F. d'Errico (eds.) From Tools to Symbols. Johanesburg: University of Witswatersand Press, 2005, pp. 389-417. ISBN 1868144178.

48. Squires N. Copper axe owned by Neolithic hunter Ötzi the Iceman came all the way from Tuscany. The Telegraph. (7 July 2017). Archived from the original on 7 November 2017. Retrieved 6 February 2020. URL: https://plato.stanford.edu/entries/newton-philosophy/

49. Taagepera R. Size and Duration of Empires: Growth-Decline Curves, 3000 to 600 B.C. *Social Science Research*, 1978, no. 7 (2), pp. 182–189.

50. Van der Leeuw S. Complex Systems Theory, Sustainability, and Innovation, *Global Institute of Sustainability*, Arizona State University's Julie Ann Wrigley Global, July 8, 2016. URL: https://sustainability.asu.edu/media/wrigley-lecture-series/complex-systems-theory.

51. Van Helden A. Sven Dupré. Rob van Gent. *The Origins of the Telescope*, Amsterdam University Press, 2010, no. 43, pp. 32-36. ISBN 978-90-6984-615-6.

52. Vyshedskiy A. Development of behavioral modernity by hominins around 70,000 years ago was associated with simultaneous acquisition of a novel component of imagination, called prefrontal

synthesis, and conversion of a preexisting rich-vocabulary non-recursive communication system to a fully recursive syntactic language, *Research Ideas and Outcomes*, April 17, 2019, doi: 10.3897/rio.5.e38546. URL: https://sustainability.asu.edu/media/wrigley-lecture-series/complex-systems-theory/

53. Wikander Ö. The Water-Mill. – in Wikander Ö. (ed.). Handbook of Ancient Water Technology, Technology and Change in History. 2, Leiden: Brill, 2000, p. 396f. – ISBN 90-04-11123-9.

54. Wilford J.N. When Humans Became Human. 2002. https://www.nytimes.com/2002/02/26/science/when-humans-became-human.html.

55. Wilson A. Water-Power in North Africa and the Development of the Horizontal Water-Wheel. *Journal of Roman Archaeology*, 1995, no 8, P. 7f.

56. URL: https://datasets.iisg.amsterdam/dataset.xhtml?persistentId=hdl:10622/LKYT53.

Уважаемые Авторы!

Общие рекомендации по оформлению рукописей:

1. При подготовке электронной версии материалов используется редактор Microsoft Word for Windows.
2. Для файла статьи используется формат *.doc, *docx.
3. Рисунки, формулы, таблицы и схемы располагаются по месту в тексте статьи. В виде отдельных файлов в формате .jpg наилучшего качества предоставляются рисунки и схемы. Названия файлов должны соответствовать нумерации и названиям соответствующих рисунков и схем в статье.
4. Статья не должна превышать объем более 20 стр. (свыше 20 стр. – по согласованию с редакцией), включая рисунки, схемы, таблицы и т.п.
5. При наборе используются **Times New Roman**, **12, полуторный интервал, поля со всех сторон – 2,5 см**. Отступ красной строки **1,25**.
6. При наборе текста используется только русский или английский языки без смешения русских и латинских букв в одном слове.
7. Таблицы создаются с использованием только редактора Word или Excel.
8. Формулы следует нумеровать в круглых скобках (например, (2)).
9. Библиографические ссылки оформляют по ГОСТ Р 7.9.5-2008, в тексте статьи заключают в квадратные скобки (например, [2]).

Файл рукописи должен включать в себя:

1. **УДК**
2. **ЗАГЛАВИЕ СТАТЬИ** на русском и перевод на английский язык. Заглавие должно быть информативным; в заглавии статьи можно использовать только общепринятые сокращения; в переводе заглавия на английский язык допускается транслитерация с русского языка только непереводимых названий собственных имен, приборов и др. объектов, имеющих собственные названия.
3. **Фамилия, имя, отчество** автора (авторов) на русском и английском языках. Указывается ученая степень, звание и должность автора.
4. **Адресные сведения авторов**, включающие электронный адрес для переписки, телефон для оперативной связи, наименование организации (ведомства), город и страну. Также дается официальное наименование организации на английском языке.
5. **Аннотация** на русском и английском языках. Объем текста аннотации определяется содержанием публикации (объемом сведений, их научной ценностью и/или практическим значением), должен быть не менее 100-250 слов.
6. **Ключевые слова** на русском и английском языках.
7. **Текст статьи.**
8. Пристатейный **список литературы** должен быть представлен двумя вариантами для русскоязычного и англоязычного блока. **Для русскоязычного блока** список приводится в следующем порядке: сначала источники на русском языке в алфавитном порядке (оформление согласно ГОСТ Р 7.0.5-2008), затем англоязычные источники также в алфавитном порядке, затем ссылки на интернет-источники в порядке появления в тексте, например:

1. Кравцов В.А. Массы атомов и энергии связи ядер. – М.: Атомиздат, 1974. – 344 с.
2. Магницкий Н.А. Теория сжимаемого осциллирующего эфира // Сложные системы. – 2018. – № 4 (29). – С. 4-24.
3. Magnitskii N.A. Theory of compressible oscillating ether // Results in Physics. – 2019. – No. 12. – P. 1436–1445.
4. URL: https://periodictable.com/Isotopes/ (дата обращения 01.08.2019).

9. **Для англоязычного блока** (**References**) сохраняется та же нумерация, что и в русскоязычном блоке, при этом источники на русском языке должны быть представлены в романском алфавите (при транслитерации используется стандарт **Board of Geographic Names (BGN)** с помощью программы https://translit.ru/ru/bgn/) с переводом названия статьи и источника, приведенными в квадратных скобках, например:

1. Kravtsov V.A. Massy atomov i energii svyazi yader [Оригинальный перевод названия на англ.яз]. M.: Atomizdat. 1974. 344 p.
2. Magnitskii N.A. Teoriya szhimayemogo ostsilliruyushchego efira [Оригинальный перевод названия статьи на англ.яз]. *Slozhnyye systemy [The complex systems]*. 2018. No. 4 (29). P. 4-24.
3. Magnitskii N.A. Theory of compressible oscillating ether. *Results in Physics*. 2019. No. 12. P. 1436-1445.
4. URL: https://periodictable.com/Isotopes/ (appeal date 01.08.2019).

Англоязычный блок полностью (название статьи, ФИО автора, официальное наименование организации, аннотация, ключевые слова, ссылки) размещается после текста статьи на русском языке.

Желаем плодотворной работы!