

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **046828**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2024.04.25

(51) Int. Cl. **G01V 9/00** (2006.01)
G01V 1/00 (2024.01)

(21) Номер заявки
202393345

(22) Дата подачи заявки
2023.12.20

(54) **СПОСОБ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА ДАННЫХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ**

(43) **2024.04.24**

(96) **2023000214 (RU) 2023.12.20**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**СЕМАШЕВ АНТОН ТИМУРОВИЧ
(RU)**

(56) EA-A1-200801036
EA-A1-201700619
EA-A1-202000125
RU-C1-2698549
RU-A-2020117614
US-B1-11740383
WO-A1-2004057374

(72) Изобретатель:
**Семашев Антон Тимурович (RU),
Семашев Герман Антонович (BY)**

(74) Представитель:
Семашев А.Т. (RU)

(57) Область применения: геофизика и, в частности, способы прогноза землетрясений. Сущность изобретения: на основе исходных данных астрономо-геодезических измерений на отсчётной поверхности деформируемого эллипсоида определяют изменения координат пунктов наблюдения при помощи моделирования конформного движения с использованием элементарных вращений (фиг. 3), подбирают композицию элементарных вращений, определяют тектоническое время на траектории движения северного географического полюса, рассчитывают компоненты геодинамического поля (включающего поле инерции, гравитационное поле и поле упругости), составляют уравнения движения и уравнения баланса энергии, на основе законов сохранения энергии и импульса моделируют процессы перераспределения энергии в теле Земли, строят карты приращения компонент геодинамического поля, на основе которых выполняют прогноз землетрясений.

B1

046828

046828

B1

Изобретение относится к области геофизики и, в частности, к способам прогноза землетрясений, позволяющих осуществлять прогноз места и времени появления опасных сейсмических событий.

Известно, что поверхность Земли можно аппроксимировать геометрически правильной фигурой эллипсоида вращения. Эллиптическая форма планеты объясняется результатом совместного действия сил гравитации и инерции в результате вращения Земли, что позволяет подобрать числовое значение сжатия и закрепить ориентацию оси сжатия именно относительно оси вращения. Также известно, что величина скорости вращения Земли меняется со временем, а ось вращения постоянно перемещается относительно тела Земли, что неизбежно должно приводить к соответствующему перемещению оси сжатия и изменению коэффициента сжатия. Тот факт, что все последние реализации международных систем отсчёта (ITRF2014, ITRF2008, ITRF2000 и т.д.) опираются на модель тектоники литосферных плит, свидетельствует о том, что на сегодняшний день не существует теории, позволяющей корректно описывать движение оси переменного сжатия на деформируемом эллипсоиде, поскольку кинематика литосферных плит реализуема только на идеальной сфере (Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики: Учебник. 2-е изд., испр. и доп. М.: КДУ, 2005. 560 с). Леонард Эйлер разработал теорию вращения абсолютно твёрдого тела. Его теория состоит из двух частей: кинематической и динамической. Понятие "абсолютно твёрдого тела" было определено им именно в геометрическом смысле, как тело, расстояние между любыми двумя точками которого не меняется со временем. С. Ньюкомб объяснил разницу в значениях периода Эйлера и Чандлера тем, что Земля не является "абсолютно твёрдой", при этом кинематическая основа в его исследованиях осталась прежней (Авсюк Ю.Н., Герасимов И.А., 1999., О модели свободной нутации и закономерностях процесса изменения широт: Российский журнал наук о земле, т. 1, 6, 477-484.). Сегодня мы имеем данные инструментальных наблюдений, свидетельствующие, о том, что расстояния между точками на Земле меняется со временем, что требует пересмотра самой геометрии задачи. Предлагаемый способ основан на кинематической теории, которая позволяет обобщить теорию твердотельного вращения Леонарда Эйлера на случай описания вращений на произвольно деформируемом эллипсоиде. При этом, использование деформируемой отсчётной поверхности не требует никаких предположений о вещественном составе и агрегатном состоянии Земных недр.

В настоящее время в геофизике не выделяется поле вращения Земли как отдельное геодинимическое поле. Компоненты этого поля включают в состав потенциального гравитационного поля Земли в виде центробежного потенциала, получаемого из центробежного ускорения стационарного поля вращения. В потенциальном поле нет аналога импульса, поэтому импульсу просто не нашлось места в гравитационном поле Земли. Предлагаемый способ основан на динамической теории, в которой описывается геодинимическое поле вращения Земли наравне с другими физическими полями Земли со своим собственным набором физических компонент, а также его связь с потенциальными полями с помощью законов сохранения и превращения энергии-импульса. Одним из основополагающих вопросов геологической науки является вопрос об источниках энергии движения земной коры. Тектоника литосферных плит постулирует, что главным механизмом тектонических движений Земли является конвекция в мантии, а основным источником энергии выступает тепловое поле Земли. По последним данным суммарная мощность теплового поля Земли оценивается в 47 Тераватт (Дэвис, Дж.Х. и Дэвис, Д.Р. Поверхностный тепловой поток Земли, Твердая Земля, 1, 5-24, <https://doi.org/10.5194/se-1-5-2010>, 2010), что эквивалентно взрывной мощности примерно 16.57 "Царь-бомб" в сутки. Расчёт мощности изменения кинетической энергии вращения Земли, связанный с изменением скорости вращения по данным международной службы вращения Земли IERS, даёт среднюю оценку в 2794.2 "Царь-бомб" в сутки (фиг. 4), что на два порядка превышает мощность теплового потока (этот несложный расчёт будет подробно представлен в описательной части изобретения). Стоит ли искать гипотетические источники движения в недоступных недрах нашей планеты, когда вокруг нас бушует океан неучтённой энергии движения Земли как планеты. Мы не замечаем геологических бурь в силу очень малой продолжительности человеческой жизни, однако мы можем реконструировать лик Земли в прошлые геологические эпохи и количественно оценить величину энергии, выделившуюся в результате неравномерности вращения Земли и движения географических полюсов. Эта энергия куда-то потрачена и, естественно, следует поискать её следы в материалах геологических наблюдений. И действительно, на географических картах мы видим множество признаков движения участков земной коры, но не можем количественно оценить затраченную на тектоническое движение работу из-за отсутствия математической модели движения земной коры. На основе законов сохранения и превращения энергии можно составить уравнения баланса энергии. Все геофизические поля энергетически связаны, поэтому можно исследовать процессы преобразования энергии из одной формы геофизического поля в другую. Эти исследования позволят построить комплексную геофизическую модель Земли, необходимую в решениях множества актуальных задач геофизики, в том числе для построения единой теории геофизических методов.

Известен способ прогноза землетрясений по астрономическим данным с использованием системы искусственного интеллекта (Трунев А.П., Луценко Е.В., Прогнозирование землетрясений по астрономическим данным с использованием системы искусственного интеллекта Научный журнал КубГАУ, №52(08), 2009). Недостатком данного способа является отсутствие физико-математической основы описания механизмов тектонических событий. Физико-математическая основа данного изобретения практи-

чески полностью базируется только на статистических методах и геологических гипотезах и не учитывает неопределённость во временной задержке между коррелируемыми событиями, обусловленную способностью Земли аккумулировать и перераспределять энергию упругих напряжений на больших интервалах геологического времени.

Наиболее близким аналогом является способ построения геодинамических карт и разрезов земной коры (Семашев А.Т., Комплекс астрономических и геофизических наблюдений для прогноза землетрясений: Геофизика, 3, 2006. - с. 60-63). Способ заключается в том, что на основе данных астрономических и геофизических измерений в каждой точке исследуемого геологического пространства определяют три компоненты геодинамического поля: E - кинетическую энергию, P - импульс и Q - объёмные напряжения, по формулам

$$m = \nu\rho; E = mv^2/2; P = mv; Q = ma/\nu;$$

где ν - единичный объём элемента геологического пространства, ρ - плотность горных пород, m - масса, v - мгновенная скорость суточного вращения, a - приращение скорости суточного вращения за единицу времени (ускорение). На основе этих формул строят кубы, карты и разрезы геологического пространства. Дополнительно строятся приращения этих величин: ΔE , ΔP , ΔQ между двумя моментами времени, соответствующим крупным землетрясениям в данном районе. По этим картам можно количественно оценить критический уровень энергии, превышение которого в данном районе влечёт за собой катастрофическое землетрясение.

Недостатками данного способа являются

отсутствие описания способа построения системы отсчёта движения, а значит подразумевается использование стандартных систем отсчёта движения, включая стандартную систему отсчёта времени;

в кинематической модели отсутствуют дифференциальные поля вращений, описывающие деформацию сфероида, вследствие изменения параметров вращения Земли;

отсутствие дополнительного описания потенциальных полей гравитации и упругости и установления связей между ними на основе составления уравнений баланса энергии;

Данные недостатки могут привести к накоплению значительной погрешности всех измерений на больших интервалах времени и свести на нет все усилия по повышению аппаратурной точности измерений и повышению точности теоретических моделей.

Задачей настоящего изобретения является повышение точности и достоверности определения координат и времени наступления мощного сейсмического события в виде землетрясения, цунами или извержения вулканов за счёт использования строгой физико-математической теории, позволяющей корректно обрабатывать данные измерений.

Поставленная задача решается следующим образом.

Согласно способу прогноза землетрясений на основе комплекса данных астрономических и геофизических наблюдений, в соответствии с которым, на основе данных астрономо-геодезических измерений в фиксированных пунктах наблюдения на поверхности планеты, определяют изменения координат этих пунктов с течением времени, на основе данных геофизических измерений определяют плотности, параметры упругости информации о текущем напряженном состоянии (компоненты тензора напряжений) в каждой точке пространства и рассчитывают компоненты геодинамического поля: кинетическую энергию, импульс и силу инерции (или их моменты), а также их частные производные, отличающийся тем, что, дополнительно

рассчитывают комплексные координаты с помощью стереографической проекции и, с целью корректного определения координат и времени на деформируемом эллипсоиде, проводят моделирование конформного движения из группы преобразований Мёбиуса, подбирают композицию элементарных вращений, определяют тектоническое время на траектории движения северного географического полюса;

рассчитывают компоненты гравитационного поля и поля упругости: гравитационную энергию, силу притяжения, энергию упругости и напряжения, составляют уравнения движения, уравнения баланса энергии и на основе законов сохранения энергии и импульса моделируют процессы перераспределения энергии в теле Земли;

строят кубы, карты и разрезы приращений величин геодинамического поля между двумя моментами времени, соответствующим крупным землетрясениям в данном районе и на основе статистического анализа данных о сейсмической активности выполняют количественную оценку критического уровня энергии, превышение которого в данном районе влечёт за собой катастрофическое землетрясение;

при отсутствии исходных геофизических данных (плотности, модули упругости и информации о текущем напряженном состоянии), необходимых для построения геодинамических карт, методами статистического анализа выполняется поиск корреляционных связей между временными интервалами сейсмической активности и энергетическими оценками изменения скорости вращения Земли и параметрами движения северного географического полюса.

Существенное отличие предложенного способа от известных заключается в новом подходе к описанию кинематической задачи, а именно построении системы отсчёта движения на деформируемом сфе-

роиде и в новом подходе к описанию динамической задачи, а именно составлении уравнений движения и баланса энергии для геодинамического поля, включающего в себя компоненты трёх геофизических полей: инерционного, гравитационного и поля упругости Земли.

На практике реализация состоит из двух частей: способ построения системы отсчёта тектонического движения на деформируемом эллипсоиде (кинематика) и способ прогноза землетрясений на основе комплекса данных астрономических и геофизических наблюдений (динамика). Практическое применение описывается во втором способе, который не является независимым и опирается на результаты реализации первого способа.

Часть 1. Способ построения системы отсчёта тектонического движения на деформируемом эллипсоиде. Кинематика.

Последнее достижение геофизической науки - модель движения литосферных плит, идеально вписывается в систему мира Клавдия Птолемея (фиг. 1). На кинематической схеме конвекции расплавленного вещества астеносферы легко угадываются элементы средневековой модели вращения небесных сфер. Концентричная, неподвижная система геосфер дополняет представления о небесном и подлунном мирах со своими особыми и независимыми законами движения. Конвективные ячеи астеносферы являются аналогами эпициклов планет. В лексике геофизики отсутствуют понятия системы отсчёта движения, а специалисты руководствуются следующими определениями: "Геологическое пространство является метрическим евклидовым пространством, однако здесь должны быть сделаны некоторые оговорки. Прежде всего, при его исследовании следует использовать геоцентрическую систему координат, причем начало координат должно быть жестко привязано к какой-либо точке нашей планеты. При глобальных построениях удобно помещать начало координат в центре Земли, а при региональных - в любой точке ее дневной поверхности, поверхности уровня моря или другой поверхности, удобной по тем или иным соображениям. Геоцентричность координат делает тектонические построения независимыми от вращения Земли и движения ее в космосе" (Косыгин Ю.А., 1983, Тектоника. - М.: Недра, с. 14). То же самое утверждали оппоненты Галилея, рассматривавшие теорию Николая Коперника не более, чем игру ума, оправданную только в процессе математических вычислений параметров движения планет. На основе такой документации наблюдений невозможно адекватно изобразить геологическое пространство, описывать процессы геологического движения и осмысленно решать задачи прогноза землетрясений.

Способ построения системы отсчёта тектонического движения на деформируемом эллипсоиде лишён перечисленных недостатков, т.к. геометрическая основа документации выбрана в соответствии с физической моделью движения Земли. Воспользуемся способом комплексной координации поверхности сфероидов. Способ заключается в сопоставлении точек сфероидов точкам плоскости, на которой определены комплексные координаты, с помощью стереографической проекции. Из северного полюса сфероидов проводятся лучи, пересекающие сфероид и касающиеся в южном полюсе плоскости. Каждой точке сфероидов взаимно-однозначно соответствует точка плоскости, кроме северного полюса. Северному полюсу сопоставляется бесконечно-удалённая точка плоскости.

На комплексном сфероиде можно ввести функции, описывающие движения её точек. Для этого перенесём образы движения плоскости на сфероид с помощью той же стереографической проекции. Теперь мы проецируем на поверхность сфероидов не отдельные точки плоскости, а линии и системы линий, описываемые функциями комплексной переменной. Особый интерес представляют функции, индуцирующие на сфероиде образы движения, т. е. такие преобразования поверхности, которые описывают собственные движения сфероидов (фиг. 2).

Рассмотрим накрытия образов географической карты векторными полями дифференциальных вращений (фиг. 3).

а) Вращение сфероидов вокруг диаметра, перпендикулярного оси стереографической проекции - описывает движение географических полюсов в теле Земли. Направление движения точек земной поверхности противоположно направлению траектории северного географического полюса.

б) Вращение сфероидов вокруг полярной оси. Направление движения совпадает с направлением суточного вращения Земли. Вклад этого движения в композицию вращений проявляется в перемещении мелких участков континентальной коры относительно крупных. Многие исследователи отмечают интересную закономерность - все острова, имеющие признаки континентальной коры, расположены вдоль восточных окраин континентов.

в) Буст - получается при равномерном растяжении плоскости проекции. Буст можно построить иначе - сжимая сферу в эллипсоид вращения вдоль оси проекции. Направление орбит с юга на север аппроксимирует движение участков земной коры на больших отрезках времени. В настоящее время в геологии поднимается вопрос о наличии северной компоненты дрейфа материков (Гончаров М.А., Талцкий В.Г., Фролова Н.С. Введение в тектонофизику. - М: КДУ, 2005. - с. 388-391). Закономерное смещение континентальной коры с юга на север, в результате которого единый праматерик (Пангея) разделился на современные континенты, заметил еще Альфред Вегенер и предположил наличие, так называемых, полюсобезжнх сил. Эта аппроксимация объясняет также закономерности Дж. Грегори: треугольную форму континентов и ориентацию треугольников одной из вершин на южный географический полюс. Для слежения за изменением положения оси вращения в начале XX века была организована Международная

Служба Широты (в настоящее время IERS), все станции которой были установлены на одной широте. После первых двух лет работы МСШ японский астроном Кимура обнаружил так называемые неполярные изменения широты (Манк У., Макдональд Г. Вращение Земли. - М.: Мир, 1964. - с. 97, 98). Изменения собственной широты станции МСШ описывалось формулой Костинского, в которую Кимура добавил так называемый z-член. Он представляет собой неполярное изменение широты, такое, как если бы широты всех станций МСШ увеличивались или уменьшались одновременно. Отмечено, что z-член имеет один и тот же знак в обоих полушариях. В полном соответствии с описанием неполярных приращений Кимуры, все точки, находящиеся на одной широте, будут иметь одинаковые приращения, а направление смещения будет совпадать в обоих полушариях. Теперь феномен одинакового изменения широт всех станций имеет наглядную геометрическую интерпретацию.

d) Изотропное вращение - получается при движении сфероида относительно плоскости проекции. Изотропное вращение описывает движение точек поверхности наблюдений при движении Земли в пространстве. Направление орбит определено по закономерностям распределения в земной коре зон растяжения и сжатия. Поле изотропного вращения аппроксимирует глобальные тектонические системы: рифты, островные дуги. Полос изотропного вращения совмещён с северным географическим полюсом, а дуга максимальных значений векторного поля ориентирована вдоль меридиана, проходящего через Атлантический рифт. В этом регионе планеты находятся тектонические системы растяжения, поэтому векторные поля здесь расходятся. На другой стороне планеты тектоническое строение дна Тихого океана имеет признаки сжатия. На чертеже видно, что векторные распределения в этом полушарии сходятся, причем линии поля изотропного вращения совпадают по форме и симметрии с системой островных дуг Тихого океана. Амплитуда векторов поля изотропного вращения увеличивается с севера на юг, в полном соответствии с закономерностью увеличения амплитуд смещений береговых линий "разбегающихся" континентов.

Теперь мы можем ввести важную характеристику поверхности Земли - сигнатуру.

Сигнатура задаёт ориентацию поверхности и представляет собой последовательность знаков плюс и минус. В выбранной нами последовательности элементов группы и в определённых на карте направлениях орбит, сигнатура будет иметь символическое обозначение

$$(++++)$$

и название "каноническая". Если изменить направление времени на обратное, то и скорости тектонических движений изменят направления на обратные, поэтому сигнатура приобретёт вид

$$(- - - -)$$

Как инструмент моделирования сигнатура удобна в решении задач реконструкции тектонического движения.

Теперь, с учётом направления элементарных вращений, можно ввести для каждого оператора ему обратный

$$a^-, b^-, c^-, d^-$$

и приступить к синтезу сложного тектонического движения из простых элементов.

Наша ближайшая задача - найти композиции простых вращений, аппроксимирующие эмпирические закономерности тектонического движения на эллипсоиде. Рассмотрим в качестве примера композицию, именуемую автоморфизмом - с ас (остальные композиции строятся по тому же принципу). Первый элемент оператора преобразует эллиптическую поверхность Земли в сферу, следующий элемент задаёт смещение начала отсчёта движения, а последний вновь сжимает сферу в эллипсоид вращения. В евклидовой "реальности" таких явлений как деформация эллипсоида вращения Земли в сферу не наблюдается, однако мы можем дискретные операции над образами представить непрерывными преобразованиями, которые описывают движения без противоречий наблюдениям. Для этого нам надо перенести результирующее векторное поле с комплексной плоскости на эллипсоид. В результате мы увидим картину непрерывного изгибания эллипсоида вращения на себя с точки зрения небожителя. С точки зрения наблюдателя на Земле мы увидим перемещение оси сжатия в теле Земли. Известно, что Земля сплюснута у полюсов под действием центробежных сил, возникающих при вращении. Если ось вращения изменяет свое положение в теле Земли, то и ось сжатия должна смещаться до совпадения с осью вращения, то есть, фигура Земли должна подстраиваться под новое положение оси вращения. Теория твердотельного вращения Леонарда Эйлера не может описать это явление по определению. Представленный автоморфизм, но уже с обратным знаком (одноосное растяжение) описывает приливные деформации, возникающие из-за неоднородности внешних гравитационных полей. Теперь мы можем согласовывать движения произвольного количества осей в рамках единой модели деформируемой Земли. Но самое главное, тектонические движения, описывающие деформацию поверхности Земли, становятся необходимым следствием в рассмотренной модели, а данные инструментальных наблюдений получают теоретическое обоснование без привлечения умозрительных гипотез о процессах, происходящих в недоступных прямому наблюдению Земных недрах.

Все рассмотренные движения и их комбинации обладают целым рядом замечательных свойств, которые позволили Августу Фердинанду Мёбиусу объединить их в группу. Все перечисленные движения конформны, имеют неподвижную точку, орбиты представляют собой окружности. Любое, сколь угодно сложное движение эллипсоида можно разложить на элементарные вращения и сопоставить им дробно-линейные функции на комплексной плоскости. Таким образом, в построенной модели есть все необходимые элементы для построения геофизической модели, включающей астрономическую как частный случай сложного движения Земли.

Для корректного описания движения необходимо ввести как минимум две системы отсчёта: подвижную или текущую с северным полюсом, совпадающим с текущим положением северного географического полюса (оси вращения) и фиксированную, с северным полюсом, расположенным на траектории движения полюса и жёстко связанным с фиксированной точкой на поверхности наблюдения. Фиксированных систем отсчёта бесконечно много и все они лежат на траектории северного полюса на поверхности наблюдения. Расстояние между точками на траектории, маркированными астрономическим временем, не будет одинаковыми, поэтому возникает необходимость ввести тектоническое время. Течение тектонического времени определяется параметром первого элементарного вращения из группы. Скорость тектонического движения определяется в каждой точке поверхности Земли на касательном векторе к локальной траектории движения за единицу времени. Вторая производная по времени от величины модуля приращения координат точки поверхности имеет физический смысл ускорения тектонического движения. При определении единиц тектонического времени удобно использовать его основное свойство - цикличность. В качестве одной из единиц измерения тектонического времени можно взять период спиральной траектории движения северного полюса - 6 лет. Не следует отождествлять понятия тектонического и геологического времени. На отрезках геологического времени невозможно определить количественные направленные величины, имеющие физический смысл скорости, ускорения и производных от них величин энергии, импульса, и т.д. Геологическая шкала - это калька со шкалы исторического времени, измеряемая в десятичной системе счисления. Геологическое время не связано с какими-либо природными циклами, а его связь с понятиями солнечного и астрономического времени не обоснована геометрическими построениями.

Практическая реализация способа построения системы отсчёта тектонического движения заключается в выполнении следующей последовательности действий:

с помощью стереографической проекции рассчитывают комплексные координаты по следующей формуле

$$z = \cot \frac{\varphi}{2} * e^{-i*\theta}$$

где z - комплексная координата;

φ - геодезическая широта, в радианах;

θ - геодезическая долгота, в радианах;

формируют наборы из 3-х попарно различных точек комплексной плоскости для каждого момента времени и для каждых двух последовательных близких моментов времени из каждого набора находят коэффициенты дробно-линейного преобразования

$$w_i = \frac{az_i + b}{cz_i + d},$$

Известно, что для трёх попарно различных точек z_1 , z_2 и z_3 существует единственное дробно-линейное отображение, переводящее эти три точки в заданные три попарно различные точки w_1, w_2 и w_3 . Это легко доказать на основе двух фактов: 1) через три попарно различные точки проходит только одна обобщённая окружность (на сфере Римана и на расширенной плоскости комплексного переменного, где любая прямая также является окружностью, что наглядно демонстрирует стереографическая проекция); 2) преобразования Мёбиуса конформны, а значит сохраняют углы между линиями поверхности и переводят окружности в окружности.

Коэффициенты дробно-линейного преобразования рассчитывают по формулам:

$$a = \det \begin{pmatrix} Z_1 W_1 & W_1 & 1 \\ Z_2 W_2 & W_2 & 1 \\ Z_3 W_3 & W_3 & 1 \end{pmatrix};$$

$$b = \det \begin{pmatrix} Z_1 W_1 & Z_1 & W_1 \\ Z_2 W_2 & Z_2 & W_2 \\ Z_3 W_3 & Z_3 & W_3 \end{pmatrix};$$

$$c = \det \begin{pmatrix} Z_1 & W_1 & 1 \\ Z_2 & W_2 & 1 \\ Z_3 & W_3 & 1 \end{pmatrix};$$

$$d = \det \begin{pmatrix} Z_1 W_1 & Z_1 & 1 \\ Z_2 W_2 & Z_2 & 1 \\ Z_3 W_3 & Z_3 & 1 \end{pmatrix};$$

рассчитывают средние коэффициенты для всех групп точек из двух ближайших моментов времени, что позволяет определить единственное преобразование для всех точек на данном интервале времени; погрешность измерения можно рассчитать на данном этапе, путём расчёта статистических характеристик, позволяющих оценивать отклонения отдельных параметров от средних величин;

на основе рассчитанных коэффициентов для каждого последовательного интервала времени проводят моделирование конформного движения из группы преобразований Мёбиуса и подбирают композицию элементарных вращений; при моделировании элементарные вращения задаются следующими формулами:

$$a) w_i = \frac{z_i * \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + i * \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{z_i * i * \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)},$$

$$b) w_i = z_i * e^{-i * \beta};$$

$$c) w_i = \gamma * z_i;$$

$$d) w_i = z_i + \delta;$$

где $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ - параметры элементарных вращений (действительные числа);

$$-\alpha, -\beta, \frac{1}{\gamma},$$

δ - обратные параметры элементарных вращений;

в качестве начальной композиции можно взять следующую:

$$\overline{c} \\ \left(\frac{1}{\gamma_1}\right)a(\alpha)b(\beta)c(\gamma_2)d(\delta)c(\gamma_1)$$

где параметр γ_1 отвечает за переход от эллипсоида сжатия к сфере и обратно, $\gamma_2 \ll \gamma_1$ - отвечает за небольшие изменения сжатия в связи с изменением скорости суточного вращения (т.е. функционально связан со скоростью вращения, но в общем случае может быть задержка в скорости реакции фигуры Земли на изменение параметров вращения), параметры α, β отвечают непосредственно за форму траектории северного полюса, δ - этот параметр подбирают в последнюю очередь, т.к. физический смысл изотропного вращения и его связь с внешними движениями не столь очевидны, как для буста, но без этого элементарного вращения группа Мёбиуса будет неполной. Композицию можно усложнять и дополнять, к примеру, такими конструкциями $b(\beta_1)a(\alpha_1)b(\beta_2)Xb(-\beta_2)a(-\alpha_1)b(-\beta_1)$, для перехода из одной системы

отсчёта в другую. Здесь параметры α_1 и β_1 задают координаты нового полюса (положение), β_2 поворот вокруг этого полюса (ориентация), а X - произвольная композиция в новой системе отсчёта;

определяют траектории движения полюса вращения и полюса сжатия эллипсоида (эти траектории должны совпадать если скорость передачи взаимодействия высока и фигура Земли сразу подстраивается под изменения поля вращения, но необязательно - можно подобрать такую композицию элементарных вращений, чтобы определять разные траектории с учётом временной задержки) в земной системе координат (к примеру, ITRF2014 или ГСК-2011), на основе которых дополнительно рассчитывают глобальное тектоническое время, а также локальное тектоническое время на локальных траекториях;

пересчитывают все координаты для каждого момента времени на подвижный эллипсоид вращения; определяют скорости и ускорения на касательных векторах к локальным траекториям движения.

Часть 2. Способ прогноза землетрясений на основе комплекса данных астрономических и геофизических наблюдений. Динамика.

Для расчёта кинетической энергии вращения достаточно знать только угловую скорость вращения и момент инерции Земли относительно полярной оси. Эти величины получают путём прямых измерений и с помощью нескольких независимых методов измерения, что существенно повышает точность и надёжность получаемых числовых оценок. Возьмём в качестве исходных данных временной ряд мгновенных значений угловой скорости вращения Земли по данным IERS EOP C04 20 1962-2023 гг. (<https://hpiers.obspm.fr/eop-pc/index.php?index=analysis&lang=en>). Выполним оценку суммарного количества кинетической энергии вращения всей Земли по формуле

$$K = I\omega^2$$

где I - момент импульса Земли относительно полярной оси, равный $8,0365 \times 10^{37}$ кг \times м² (по данным IERS: <https://hpiers.obspm.fr/eop-pc/index.php?index=constants&lang=en>), ω - мгновенная угловая скорость вращения Земли.

На фиг. 1 представлены 3 графика: а) график угловой скорости вращения Земли; б) график изменения кинетической энергии вращения Земли (производная по времени от кинетической энергии), выраженной в единицах "Царь-бомбы"; в) график RMS-оценки мощности изменения кинетической энергии в скользящем окне шириной 365 дней, выраженной в единицах "Царь-бомбы" в сутки. RMS-оценка - это стандартный способ расчёта энергии в колебательных процессах, где энергия периодически переходит из одной формы в другую (из кинетической в потенциальную и обратно). RMS-оценка среднего изменения энергии в сутки 6.846×10^{20} Джоулей, что эквивалентно энергии взрыва приблизительно 2794.2 "Царь-бомб", каждая из которых имеет энергию 58.6 мегатонн (одна Царь-бомба - 2.45×10^{17} Джоулей), в то время как энергия, необходимая для поддержания тектонической активности оценивается примерно в 47 ТВт (4.0608×10^{18} Джоулей), что эквивалентно взрывной мощности примерно 16.57 "Царь-бомб" (Дэвис, Дж.Х. и Дэвис, Д.Р. Поверхностный тепловой поток Земли, Твердая Земля, 1, 5-24, <https://doi.org/10.5194/se-1-5-2010>, 2010). Величина мощности потока кинетической энергии на 2 порядка превышает мощность тектонической активности, что может вызвать сомнения в корректности такой оценки. Для проверки выполним расчёт другим способом. Посчитаем RMS-оценку изменения LOD (Length Of Day - продолжительность дня). Она составляет около 0.138 мс в сутки. Теперь достаточно посчитать разность в количестве энергии для средней продолжительности дня 1962-2023 гг. - 86164.100456 с и для продолжительности дня $86164.100456 - 0.000138$ с, т.е. на 0.138 мс короче. Мы опять получим энергию, равную 2794.2 "Царь-бомб" в сутки. Для сравнения, общая мощность современного ядерного арсенала мира эквивалентна примерно 21.35 Царь-бомбам, а общее годовое энергопотребление человечества в 2022 г. составило 762.61 Царь-бомб. Т.е. в сутки через Землю проходит поток энергии в 100 раз больший, чем современный арсенал ядерного оружия всего человечества и в 3.5 раза больший годового энергопотребления всего человечества, при этом на тектоническую активность расходуется менее 1% от этой энергии. На графике изменения кинетической энергии не видно никаких признаков затухания периодического процесса, так же никаких признаков затухания нет в движении оси вращения в теле Земли. Это может быть только в том случае, когда затухание энергии процесса (при расходовании части энергии на тектонические процессы и на тепловые потери) полностью компенсируется поступлением энергии от внешних источников. Наиболее мощные внешние источники энергии - это Солнце и Луна. Солнце даёт два вида энергии - в виде ЭМ излучения и гравитационного взаимодействия. ЭМ излучение Солнца влияет в большей степени на термодинамический режим атмосферы и гидросферы, что влечёт за собой перераспределение масс. Однако более мощным источником поступления энергии, изменяющим кинетическую энергию вращения, может быть приливное взаимодействие с Луной и Солнцем. Приливное взаимодействие непосредственно создаёт перераспределение масс, поэтому может являться прямой причиной изменения скорости вращения Земли и движения полюсов. Известно, что тектоническая активность спутников Юпитера непосредственно связана с приливными силами и сильнее проявляется на спутниках, которые находятся в резонансном движении из-за приливного взаимодействия с Юпитером и соседними спутниками. Повышенная тектоническая активность проявляется не только в увеличенной мощности каждого события, но в увеличении частоты их появления.

Результатом любых тектонических движений является перераспределение масс и увеличение энтропии за счёт перехода части энергии в тепло, которое и является источником конвекции. Энергетически более выгодным с позиции энтропии мог бы быть процесс прямого поступления энергии из источников, напрямую меняющих распределение масс Земли, но не являющихся тектоническими, к которым можно отнести деформации, связанные с изменением скорости вращения Земли и движением полюса вращения. Мы выполнили оценку суммарной мощности потока энергии, связанной с изменением скорости вращения Земли. Эта оценка даёт лишь интегральную картину и теоретически может быть полезна только при прогнозе времени сейсмического события, но не его пространственной локализации. Перейдём к рассмотрению физических полей Земли, непосредственно связанных с геодинамическими процессами.

Поле вращений геологического пространства такая же физическая реальность и так же связано с массами горных пород, как и другие геофизические поля. Каждой точке земной коры можно сопоставить географические координаты, момент времени, связанный с заданным положением северного географического полюса, а также векторные величины скоростей вращений и ускорений. Зная распределение плотностей в земной коре, можно вычислить в каждой точке пространства величины производные от скоростей и ускорений: E - кинетическую энергию, P - импульс и F_i - силы инерции, по формулам

$$E = \frac{1}{2}mv^2; P = mv; F_i = ma;$$

где $m = \rho v$, v - единичный объём элемента геологического пространства; ρ - плотность горных пород; m - масса; v - мгновенная скорость суточного вращения; a - приращение скорости суточного вращения за единицу времени (ускорение).

Распределения энергии, импульса и сил инерции отражают и физические свойства исследуемой области геологического пространства. Эти распределения удобно объединить и рассматривать совокупность скаляра E и векторов P и F ; в каждой точке геологического пространства как компоненты единого инерционного поля вращения.

Компоненты поля гравитации геологического пространства: U - потенциальная энергия гравитации, F_g - сила притяжения, рассчитываются по формулам

$$U = GMm/r; F_g = mg^*;$$

где m - масса элемента геологического пространства, G - гравитационная постоянная, M - масса Земли, r - расстояние до центра масс Земли, g^* - ускорение, создаваемое силой гравитации (в отличие от ускорения силы тяжести g не является равнодействующей центробежной силы и силы притяжения). На практике измеряют не силу притяжения, а силу тяжести. Рассмотрение двух полей по отдельности позволяет аналитически разделить эти векторные величины.

Компоненты поля упругости геологического пространства: W - потенциальная энергия упругости, тензор напряжений σ_{ij} , тензор деформаций ϵ_{ij} , тензор модулей упругости C_{ijkl} :

$$W = \frac{1}{2}\epsilon_{ij}\sigma_{ij}; \sigma_{ij} = C_{ijkl}\epsilon_{kl}$$

где компоненты тензора напряжений σ_{ij} зависят как от текущих значений напряжений, определяемых геодинамическим и гравитационным полем, так и от накопленных в данной области геологического пространства. Мгновенными напряжениями назовем ту часть напряжений, которую можно аналитически определить по мгновенным значениям силы тяжести в каждый момент времени и пространственным распределениям плотностей в заданной области геологического пространства. Вертикальная компонента мгновенных напряжений определяется как разность между литостатическим давлением (вес всех вышележащих пород минерального скелета) и гидростатическим давлением (давление столба жидкости на той же глубине). Горизонтальные компоненты мгновенных напряжений можно определить по информации о коэффициентах бокового распора горных пород. Накопленные напряжения можно рассчитать, как разность между фактическими и мгновенными напряжениями. Наличие накопленных напряжений связано с неоднородностями строения Земли и способностью геологического пространства аккумулировать и перераспределять упругую энергию. Именно недоучёт накопленных напряжений может быть основной причиной расхождения величины динамического сжатия, рассчитанного по разным моделям и реальному, получаемого из прямых наблюдений.

Компоненты всех трёх полей взаимосвязаны, поэтому эти три поля удобно объединить и рассматривать в рамках одного геодинамического поля.

Анализ расчётных формул геодинамического поля показывает следующее.

1. Энергия вращения Земли принимает максимальные значения на экваторе, где энергия поля гравитации минимальна, и убывает к полюсам, где поле силы тяжести максимально. Иначе говоря, потенциальная энергия гравитационного поля и кинетическая энергия движения на поверхности планеты распределены в противофазе. Эти виды энергии преобразуются друг в друга при вращении планеты вокруг Солнца по эллиптической траектории. При изменении скорости вращения Земли будет меняться инерционное поле напряжений, что приведёт к изменению её сжатия. Изменение сжатия приводит к перерас-

пределению масс, а значит и к изменению потенциального поля гравитации Земли. Увеличение кинетической энергии вследствие увеличения скорости вращения Земли приводит к увеличению сжатия. Известно, что максимальную потенциальную энергию гравитации имеет сферическое тело без сжатия, следовательно при увеличении сжатия потенциальная гравитационная энергия Земли уменьшается и наоборот. Перераспределение масс также меняет момент инерции Земли относительно полярной оси, что опять приводит к изменению скорости вращения, вследствие закона сохранения импульса.

2. Процесс преобразования энергии должен наблюдаться и вследствие движения географических полюсов. Действительно, при изменении положения северного географического полюса, все точки Земли получают приращения координат (фиг. 1), следовательно: в отдельных областях пространства Земли будут возникать приращения потенциальной и кинетической энергии противоположного знака. Изменение упругого поля напряжений за счёт изменения параметров поля сил инерции приводит к изменению поля деформаций, что должно приводить к изменению положения оси сжатия относительно тела Земли. Это приводит к перераспределению масс и как следствие к изменению потенциального поля гравитации Земли.

3. Неравномерности суточного вращения Земли и сложная траектория движения северного географического полюса создают переменное геодинамическое поле или геодинамический фон.

4. Приращения компонент инерционного и гравитационного полей могут быть обусловлены перемещениями масс горных пород при проходке горных выработок, а также в результате тектонических движений.

5. Плотностные неоднородности геологического пространства и кривизна геологических поверхностей приводят к локальной неравномерности распределения компонент геодинамического поля. В областях земной коры с плавными изменениями рельефа, на платформах, мы увидим плавные изменения образов геодинамического поля. В районах высокой дифференциации плотностей, в областях континентальных орогенов и океанических впадин, картина иная. Здесь мы увидим аномалии геодинамического поля в виде резких изгибов изолиний и изменений величин, а также направлений векторных полей. В областях резкого изменения плотностей горных пород импульсная компонента возрастает и, кроме того, в процессе тектонического движения накапливается потенциальная энергия сжатия, растяжения и кручения блоков земной коры, отличающихся плотностью слагающих их масс. Контрастность плотностей горных пород может быть обусловлена не только их вещественным составом, но и резкими изменениями рельефа поверхности Земли, рельефа ниже залегающих структурных поверхностей, а также разломами со смещением слоёв разной плотности. Именно в таких местах регистрируются сильные землетрясения.

6. Компоненты геодинамического поля связаны между собой законами сохранения и превращения энергии: изменение энергии одного поля компенсируется таким же количеством энергии компонент другого поля, а суммарная энергия в некоторой области геологического пространства остаётся величиной постоянной в каждый момент времени. Импульсная компонента определена только для инерционного поля, следовательно закон сохранения импульса применим только к инерционному полю, однако приращение импульса приводит к возникновению дополнительных напряжений за счёт появления дополнительных сил инерции, что также отражается на общем балансе энергии всех трёх полей. С учётом приращения значений геодинамического поля определяется баланс энергии в исследуемой области пространства.

Поле упругости выполняет связующую роль между инерционным и гравитационным полем Земли. Поле напряжений всегда содержит обе составляющие сил инерции и гравитации в виде силы тяжести. Отличительной особенностью этого поля является способность накапливать и перераспределять энергию обоих полей. Можно сказать, что это поле обладает "памятью" в том смысле, что помимо информации о текущей геодинамической обстановке, дополнительно содержит интегральную информацию о геодинамической обстановке на протяжении некоторого интервала времени.

Перечисленные свойства способа позволяют моделировать все 3 поля, количественно описывать явления преобразования энергии в земной коре, и таким образом использовать геодинамические карты в решениях прикладных геофизических задач. Информативность геодинамических карт и разрезов выше информативности совокупности исходных данных, поскольку к геодинамическому полю можно применять методы цифровой обработки на основе векторного и тензорного анализа с применением законов сохранения и превращения энергии.

Ниже приводится описание процесса построения простейшей карты распределения величины кинетической энергии $-E$ в некоторой области геологического пространства, применимый и для построения карт остальных компонент геодинамического поля. Исходный материал для построения графического образа геодинамического поля представляет собой упорядоченную в географических координатах и глубине от поверхности геоида последовательность числовых значений величин плотности горных пород, измеренных методами петрофизики или рассчитанными по данным дистанционных геофизических методов. Исследуемая область геологического пространства разделяется на мелкие фрагменты путём задания трёхмерной сети линий с постоянным шагом между точками измерения плотности горных пород. По данным IERS в узлах сети по значениям их географических координат и значениям глубин рассчитываются значения величин мгновенной линейной скорости вращения и ускорения. По указанной выше фор-

муле вычисляется в каждом пункте измерения плотности горных пород величина кинетической энергии. Результаты вычислений обрабатываются известными в геофизике и картографии методами визуализации и наносятся на бумажную основу в виде графиков функций, либо с помощью изолиний в любом, удобном для анализа, сечении исследуемого геологического пространства. Горизонтальные сечения пространства плоскостью - это карты, а вертикальные - разрезы компонент геодинамического поля. Масштабы геодинамических карт и разрезов земной коры могут варьировать в широких пределах и выбираются геофизиком в соответствии с условиями решения поставленной задачи исследования. При использовании технических средств цифровой обработки данных геологических и астрономических наблюдений появляется возможность гибко менять параметры визуализации, применять различные системы координат и сети дифференцирования геологического пространства на элементарные объёмы, а также использовать моделирование распределения геодинамических полей во времени, например, методами анимации. В алгоритмах программ расчета геодинамических карт следует использовать методы сферической или римановой геометрии.

1. Прогноз горного удара и антропогенных землетрясений.

Проходка горных выработок часто сопровождается явлением горного удара. Природа этого опасного явления плохо изучена и в настоящее время происхождение энергии горного удара объясняется гипотезами. Построение геодинамических карт в области пространства проектной горной выработки позволяет рассчитывать наиболее безопасные параметры выемки масс горных пород, не прибегая к каким бы то ни было гипотезам. На картах определяется направление проходки с минимальными значениями приращений и градиентов компонент геодинамического поля. Геодинамические поля искусственного и естественного происхождения суммируются и, в зависимости от направления искусственных полей, могут усиливать или ослаблять друг друга. Мониторинг естественных геодинамических полей по данным Международной службы движения полюса позволяет учитывать энергетический фон и прогнозировать повышение риска горного удара. Критическими параметрами горного удара являются: географическое положение, направление проходки, скорость и объём выемки масс горных пород.

Антропогенные землетрясения часто наблюдаются при резком сбросе больших масс воды из водохранилищ, в результате интенсивного забора флюидов из нефтяных и водных скважин. Эти явления можно количественно описать на основе расчётных формул или путём построения геодинамических карт до и после антропогенного вмешательства в геологические процессы. Ретроспективный анализ по множеству сейсмоопасных участков в различных районах Земли позволит установить причинно-следственные связи между параметрами движения географических полюсов, географическим положением и геологическим строением сейсмоактивных участков земной коры, и таким образом повысить точность прогноза землетрясений.

2. Прогноз мощных природных землетрясений.

В настоящее время в условиях задач сейсмологии не учитываются факторы неравномерности вращения Земли и не применяются законы сохранения и превращения энергии. В геофизической модели сейсмических явлений необходимо строить карты естественных геодинамических полей и учитывать их вариации во времени. Построение геодинамических карт позволяет более полно исследовать процессы превращения энергии геофизических полей в энергию сейсмических волн, моделировать явления на основе известных физических законов с учетом особенностей строения земной коры и движения географических полюсов, накапливать эмпирическую информацию с целью решения задач прогноза землетрясений. Анализ распределения эпицентров сильных землетрясений позволяет установить корреляцию с повышенными значениями градиентов геодинамических полей.

Способ построения геодинамических карт земной коры для решения задач сейсмологии следует модифицировать следующим образом. На карту исследуемого сейсмоактивного участка земной коры наносятся значения не самих величин E , P , F_i , U , W , F_g , σ_{ij} а их приращений: ΔE , ΔP , ΔU , ΔW , ΔF_i , ΔF_g , $\Delta \sigma_{ij}$ между двумя моментами времени, соответствующим крупным землетрясениям в данном районе. Дополнительным материалом являются данные сейсмологии, накопленные более чем за век инструментальных наблюдений. Назовём эти карты картами дифференциальных (аномальных) геодинамических полей. По этим картам можно количественно оценить критический уровень энергии, превышение которого в данном районе влечёт за собой катастрофическое землетрясение. Но этого недостаточно для предупреждения людей о грозящей опасности, ведь нужно ещё знать момент, когда произойдет землетрясение. Для этого необходимо использовать данные международной службы слежения за движением полюсов. Если параметры движения полюса и изменения скорости вращения близки или совпадают с критическими в прошлые моменты катастрофических землетрясений в данном районе, то это означает, что сейсмическое событие может повториться.

При отсутствии исходных данных о плотности, модулях упругости и информации о текущем напряженном состоянии, необходимых для построения геодинамических карт, методами статистического анализа выполняется поиск корреляционных связей между временными интервалами сейсмической активности в данном регионе и энергетическими оценками изменения скорости вращения Земли и параметрами движения северного географического полюса. Периодичность проявления тектонической ак-

тивности будет прямо пропорциональна суммарной энергии, поступившей от внешних гравитационных источников и коррелировать с периодичностью поступления этой энергии. Использование этой величины в качестве временной задержки при расчёте корреляционных связей между суммарной накопленной RMS оценкой кинетической энергии, связанной с изменением параметров вращения Земли и параметрами проявления тектонической активности Земли, может существенно повысить достоверность прогноза землетрясений как в отдельных регионах Земли, так и для Земли в целом. Физический механизм такой периодичности объясняется тем, что возможность накопления энергии в отдельных регионах ограничена пределом прочности пород в местах наибольшей концентрации напряжений. При превышении накопленной энергии некоторого порога, происходит сброс упругой энергии в виде сейсмического события, что приводит как к перераспределению масс, так и к уменьшению накопленной упругой энергии. Если в результате сейсмического события изменения в структурном плане были незначительными, то и способность накапливать напряжения в данной области геологического пространства сохраняется на прежнем уровне.

Для более полного описания может понадобиться включение в модель внешних гравитационных полей. Все необходимые компоненты таких полей можно рассчитать на основе теории приливов. В настоящее время IERS использует модель solid Earth zonal tides of the 2010 IERS Conventions в качестве рабочей модели. Эта теория хорошо проработана и не требует пересмотра или модернизации на данном этапе исследования, поэтому нет необходимости подробно останавливаться на описании внешних гравитационных полей. Взаимосвязь между геодинимическим, электрическим, магнитным и другими полями Земли может быть более сложной и опосредованной, поэтому включение этих полей в рассмотрение на данном этапе не имеет практической пользы. По мере накопления данных об изучении механизмов аккумуляции и перераспределения энергии между тремя полями могут появиться невязки в балансе энергии или импульса, что будет указывать на необходимость включения новых физических полей в предложенную модель.

Таким образом, предложенный способ прогноза землетрясений на основе комплекса данных астрономических и геофизических наблюдений обеспечивает

повышение точности наблюдений за счёт уменьшения погрешности кинематической модели движения. Погрешность измерения параметров тектонического движения складывается из двух величин: инструментальной погрешности наблюдения и погрешности кинематической модели. Первая величина определяется методикой измерения (ГЛОНАСС, GPS, РСДБ и т.д.) и за счёт комплексирования может быть значительно снижена. Благодаря повышенной точности инструментальных измерений удалось обнаружить отличие расчётного периода свободной нутации Эйлера от реально наблюдаемого - периода Чандлера, а также неполярные приращения широт (к примеру, z-член Кимуры), которые невозможно было объяснить с позиции используемых теоретических моделей. Погрешность кинематической модели определяется отличием идеализированной отсчётной поверхности от реальной поверхности Земли и её эволюции во времени. Для деформируемого эллипсоида сжатия погрешность меньше, чем для неподвижной сферы;

возможность построения новой динамической теории движения Земли на основе более общей кинематической модели, позволяющей корректно описывать деформации. Как известно, любая динамическая теория ограничена возможностями кинематической теории, лежащей в её основе. Законы сохранения и превращения энергии позволяют только накладывать ограничения на кинематическую модель. Следует отметить, что предложенная кинематическая модель не ограничивает построение динамической теории такими понятиями как упругость или пластичность, поскольку априори не накладывает ограничения на уравнения связи напряжений и деформаций;

возможность прогноза опасных сейсмических событий на основе строгой физико-математической теории без использования каких-либо гипотез о недоступных для непосредственного наблюдения земных недрах.

Выводы.

1. Способ прогноза землетрясений на основе комплекса данных астрономических и геофизических наблюдений не содержит умозрительных геологических гипотез и априорных предположений о внутренних механизмах движения земной коры.

2. В новом способе описания тектонических движений используется современная математическая теория и эмпирический материал наблюдений о строении земной коры.

3. Способ прогноза землетрясений на основе комплекса данных астрономических и геофизических наблюдений позволяет интегрировать опыт астрономии и физики в решениях научно-прикладных задач геологии и геофизики.

4. В системе отсчёта тектонического движения впервые применяется математический аппарат теории групп и дифференциальной геометрии на деформируемом эллипсоиде вращения.

5. Установлена и математически обоснована причинно-следственная связь движения земной коры от циклического движения северного географического полюса, а также выявлены географические направления активных тектонических движений на орбитах дифференциальных вращений.

Реализация предложенного способа прогноза землетрясений на основе комплекса данных астроно-

мических и геофизических наблюдений не требует создания каких-либо дополнительных устройств, а предполагает только наличия исходных данных измерений и программного обеспечения, позволяющего производить математические вычисления с комплексными числами. Авторами частично реализован описанный способ в виде программного кода в ПО Matlab и Python. Помимо специализированных программных пакетов такими возможностями сегодня обладает любой современный язык программирования. Таким образом, предложенный способ соответствует критерию изобретения "промышленная применимость".

На основании изложенного полагаем, что поставленная задача изобретения решена в полном объеме.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ прогноза землетрясений на основе комплекса данных астрономических и геофизических наблюдений, в соответствии с которым, на основе данных астрономо-геодезических измерений в фиксированных пунктах наблюдения на поверхности планеты, определяют изменения координат этих пунктов с течением времени, на основе данных геофизических измерений определяют плотности, параметры упругости информации о текущем напряженном состоянии (компоненты тензора напряжений) в каждой точке пространства и рассчитывают компоненты геодинамического поля: кинетическую энергию, импульс и силу инерции (или их моменты), а также их частные производные, отличающийся тем, что дополнительно

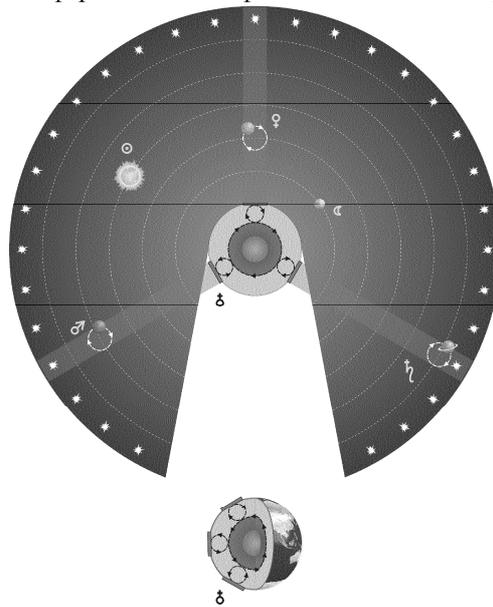
рассчитывают комплексные координаты с помощью стереографической проекции и с целью корректного определения координат и времени на деформируемом эллипсоиде проводят моделирование конформного движения из группы преобразований Мёбиуса, подбирают композицию элементарных вращений, определяют тектоническое время на траектории движения северного географического полюса;

рассчитывают компоненты гравитационного поля и поля упругости: гравитационную энергию, силу притяжения, энергию упругости и напряжения, составляют уравнения движения, уравнения баланса энергии и на основе законов сохранения энергии и импульса моделируют процессы перераспределения энергии в теле Земли;

строят кубы, карты и разрезы приращений величин геодинамического поля между двумя моментами времени, соответствующим крупным землетрясениям в данном районе и на основе статистического анализа данных о сейсмической активности выполняют количественную оценку критического уровня энергии, превышение которого в данном районе влечёт за собой катастрофическое землетрясение;

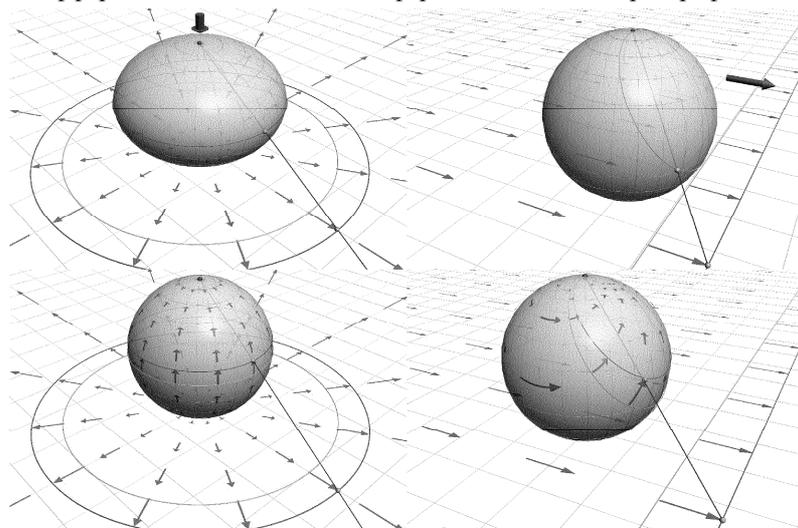
при отсутствии исходных геофизических данных (плотности, модуля упругости и информации о текущем напряженном состоянии), необходимых для построения геодинамических карт, методами статистического анализа выполняется поиск корреляционных связей между временными интервалами сейсмической активности и энергетическими оценками изменения скорости вращения Земли и параметрами движения северного географического полюса.

Кинематика литосферных плит на фоне космического окружения Земли



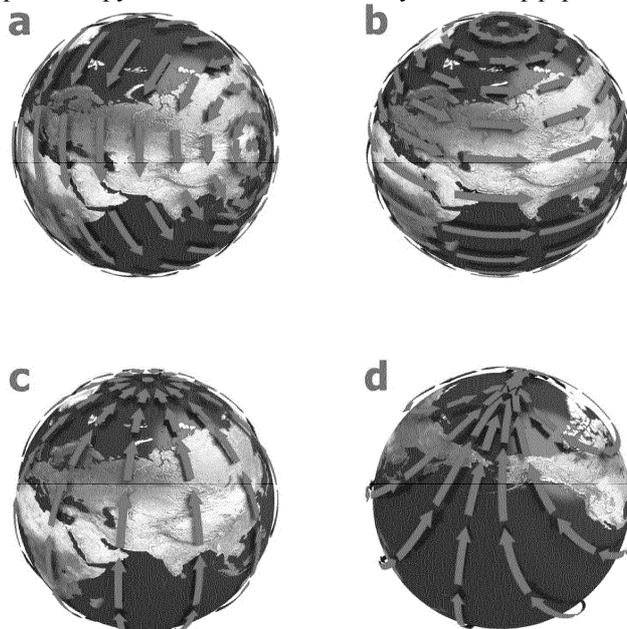
Фиг. 1

Построение дифференциальных движений сферы с помощью стереографической проекции



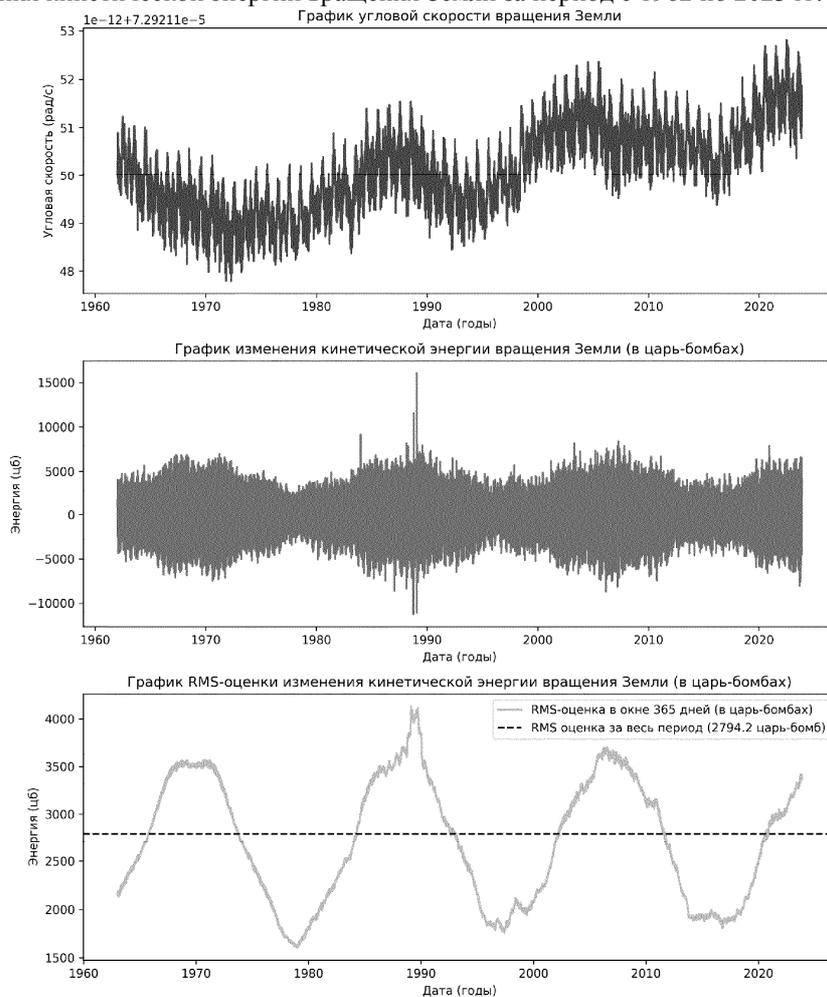
Фиг. 2

Элементы расширенной группы движений Земли с учётом дифференциальных вращений



Фиг. 3

Оценка изменения кинетической энергии вращения Земли за период с 1962 по 2023 гг. по данным IERS



Фиг. 4

