

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ С НАПРЯЖЕННЫМ СОСТОЯНИЕМ ЗЕМНЫХ НЕДР

Вадим Федорович Канушин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доцент кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (383)361-01-59, e-mail: phis.geo.sgga@gmail.ru

Михаил Николаевич Кузнецов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант, кафедра физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (913)740-32-87, e-mail: mihailkuznecov1@mail.ru

В статье выполнено исследование связи гравитационного поля с напряженным состоянием земных недр.

Ключевые слова: гравитационное поле, напряженное состояние, спектральный геоид.

RESEARCH OF THE RELATIONS GRAVITATIONAL FIELD WITH TENSION BY THE CONDITION OF THE EARTH'S INTERIOR

Vadim F. Kanushin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., docent, Department of Physical Geodesy and Remote Sensing, tel. (383)361-01-59, e-mail: phis.geo.sgga@gmail.ru

Mikhail N. Kuznetsov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., post graduate student, Department of Physical Geodesy and Remote Sensing, tel. (913)740-32-87, e-mail: mihailkuznecov1@mail.ru

The article describes of the research of relations gravitational field with tension by the condition of the earth's interior.

Key words: gravitation field, stress state, multispectral geoid.

Введение.

Проблемы целого ряда наук о Земле: геологии, геофизики, океанологии, геодезии тесно связаны с проблемами геодинамики и современными движениями земной коры. Для изучения динамики Земли исходными материалами являются сведения о фигуре (физической, гравитационной и динамической), внутреннем строении, атмосфере, литосфере, гидросфере Земли, лунно-земным и солнечно-земным связи, геофизическим силовым полям (геогравитационным, геомагнитным, геотермическим), суточным вращением и годовым движением Земли.

В последние десятилетия появились весьма высокоточные глобальные геопотенциальные модели (ГГМ) с высокой разрешающей способностью. Такая

возможность появилась благодаря внедрению новых космических средств измерений, обладающих высокой точностью и разрешением, что позволило определять малые изменения в геоцентрических координатах наземных пунктов и в параметрах ориентации и скорости вращения Земли во временных интервалах в 1 сутки с точностью 1 см.

Оценка сейсмологической обстановки одна из возможных областей применения моделей гравитационного потенциала земли (ГПЗ) в автоматизированных технологиях изысканий и проектирования в настоящее время.

Актуальность работы обусловлена тем, что для изучения механизмов возникновения разрушительных по своим последствиям геодинамических явлений, в том числе для определения мест подготовки сильных землетрясений, извержений вулканов и некоторых других природных катастроф, очень важно иметь возможность выделить области, с напряженным состоянием земных недр, где происходят максимальные изменения вектора смещения земной коры. Поскольку эти смещения проявляются на уровне субмиллиметров, то и точность измерений должна быть соответствующей. Опыт последних лет показал, что технология спутниковой геодезии, включая глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) и лазерные измерения дальностей, является наиболее эффективным (по точности и экономичности) средством для регистрации и мониторинга сдвиговых деформаций и вертикальных движений земной коры.

В работах Татевян С.К. отмечено, что значительный вклад современные спутниковые технологии вносят в изучение таких явлений как: изменение уровня Мирового океана; послеледниковой отдачи поднятия земной коры; тектонических движений разного ранга, являющихся индикаторами динамических характеристик земной коры и мантии, которые раньше невозможно было количественно оценить на коротких временных интервалах [1, 2, 3].

Постановка и решение задачи.

В работе предложена методика определение напряжения земной коры по мониторингу гравитационного поля на территории Земли. В качестве индикатора напряжения земной коры используется геоид, в котором отражаются все аномальные массы Земли и динамика движения земной коры. Активное движение земных плит привело к увеличению сейсмической активности. На рис. 1 показано движение литосферных плит. В результате субдукции плиты под плиту на территориях происходят землетрясения.

Геопотенциал силы тяжести, если известны коэффициенты геопотенциала можно вычислить по формуле [4]

$$V(\varphi, \lambda, r) = \frac{fM}{r} \left[1 + \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a_e}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos m \lambda + \bar{S}_{nm} \sin m \lambda) P_{nm}(\sin \varphi) \right], \quad (1)$$

где fM – геоцентрическая гравитационная постоянная, $\text{м}^3 \cdot \text{сек}^{-2}$;

a_e – экваториальный радиус Земли, м;

r – радиус-вектор точки наблюдения (φ, λ, r) , м;

\bar{C}_{nm} и \bar{S}_{nm} – безразмерные гармонические коэффициенты геопотенциала степени n и порядка m ;
 $P_{nm}(\sin \varphi)$ – присоединенные функции Лежандра.

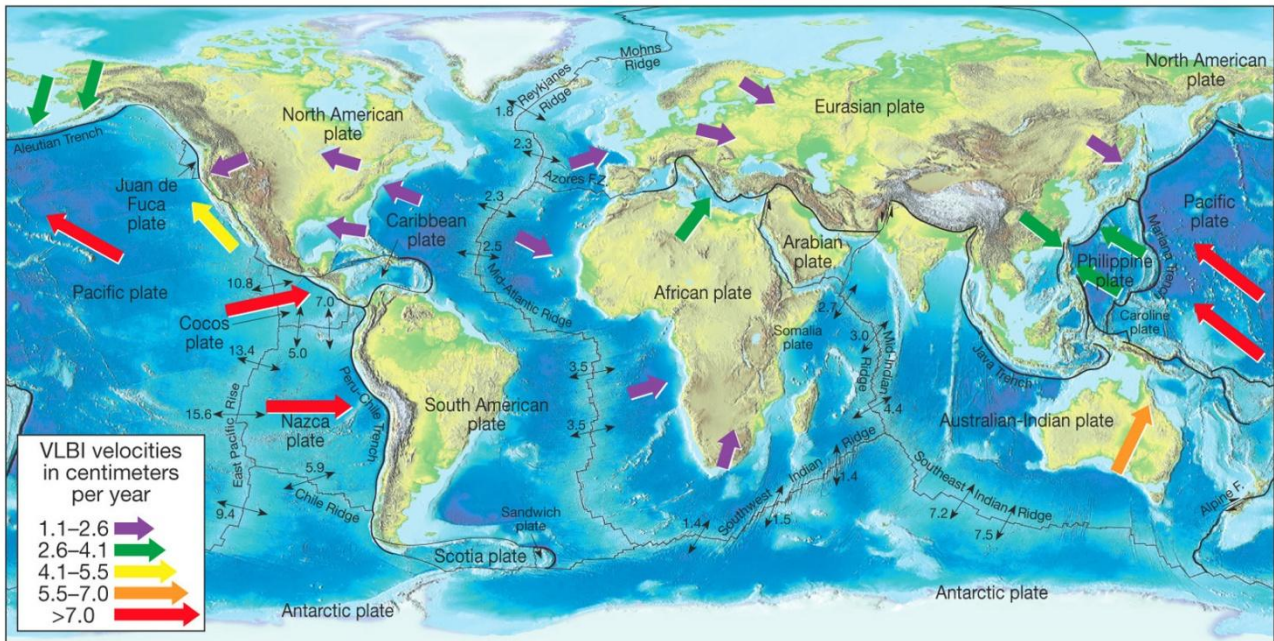


Рис. 1. Движение литосферных плит

Для вычисления высоты геоида используется формула [4]

$$\zeta = R_M \sum_{n=2}^N \sum_{m=0}^n (\Delta \bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \Delta \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\sin \varphi), \quad (2)$$

где φ, λ – сферические координаты пункта;

$\bar{P}_{nm}(\sin \varphi)$ – полностью нормированные присоединенные функции Лежандра;

$\Delta \bar{C}_{nm}, \Delta \bar{S}_{nm}$ – разности коэффициентов нормированных сферических функций реального и нормального полей, рассчитываются по формуле

$$\Delta \bar{C}_{nm} = \bar{C}_{nm} - \bar{C}_{nm}^0, \Delta \bar{S}_{nm} = \bar{S}_{nm} - \bar{S}_{nm}^0, \quad (3)$$

где $\bar{C}_{nm}^0, \bar{S}_{nm}^0$ – гармонические коэффициенты нормального значения силы тяжести.

Для выделения областей напряженности авторами используется спектрально-зональная модель геоида, которая представляет гравитационные поля Земли бесконечной суммой сферических гармоник вида (1) позволяет получить их тематические модели, отнесенные к ограниченным зонам волнового диапазона

путем суммирования лишь гармоник из этого диапазона. Тогда формула (1) приобретает вид конечного отрезка

$$V_N(\phi, \lambda, r) = \frac{fM}{r} \left[1 + \sum_{n=2}^N \left(\frac{a_e}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\sin \phi) \right], (5)$$

Общепринятого метода определения ширины спектрального окна не существует. Выбор диапазона частот для построения спектрозональных моделей гравитационного поля обусловлен точностью и детальностью исходных данных, требованиями к точности решения задачи и т. д. Полезную информацию спектрозональные модели позволяют предоставить тогда, когда энергия поля выше уровня шумов в спектральном окне. С этих позиций оказываются полезными данные об энергетической структуре гравитационного поля, которую характеризуют, степенные дисперсии геопотенциала (8). Построение спектрозональных моделей гравитационного поля позволяет осуществить разделение поля на составные части в координатной области по информации в волновой области, и тем самым позволяет выделять составляющие поля разнородного генетического происхождения. Именно это обстоятельство было использовано в работах В. Ф. Канушина [5-7] для прогнозирования аномалий силы тяжести в неизученных районах.

В работе путем последовательного объединения гармоник $\bar{C}_{nm} \bar{P}_{nm} \cos m\lambda$ и $\bar{S}_{nm} \bar{P}_{nm} \sin m\lambda$ в отдельную группу создаем окно, которое действует как полосовой фильтр пропускания низких или высоких гармоник. Размах степени окна гармоник подбирается так, чтобы результат был сосредоточен на фактическом гравитирующем источнике. Полезной информацией считается такая, у которой энергия окна гармоник выше уровня шума гравитационного поля. Суммироваться может любой конечный набор сферических гармоник, если представление физического поля в таком виде имеет смысл. Спектрозональная модель гравитационного поля Земли – результат действия на реальное поле полосового фильтра, пропускающего энергию поля в заданном диапазоне частот. Этот диапазон частот называют спектральным окном. Изменяя ширину спектрального окна можно получать данные о характере пространственного распределения гравитационного поля в заданном диапазоне частот. Для вычисления используется модель геопотенциала EIGEN-6C4, которая была взята с официального интернет-ресурса центра глобальных моделей Земли [8]. EIGEN-6C4 – комбинированная модель гравитационного поля основана на анализе переданных данных, полученных в период сентябрь 2009 года – сентябрь 2013 года. Модель была создана при использовании измерений, полученных от спутников LAGEOS, GRACE и GOCE, наземных гравитационных измерений и данных от спутниковой альтиметрии. Комбинация GRACE и GOCE данных позволяет построить комбинированную модель с точностью до степени и порядка 260. Сравнение результатов испытаний (вычисления орбиты, GPS выравнивания, геострофической скорости течения) в этой последней модели EIGEN-6C4 с моделями EGM2008, GGM03 и GRACE-ITG2010S демонстрирует выигрыш в точ-

ности при высоких степенях, в то время как его производительность идентична моделям для низких степеней. Вычисление производится с помощью программы «PROJECT SINT v2.4», разработанной на кафедре физической геодезии и дистанционного зондирования Голдобиным Д.Н. Фрагменты поля высот геоида для спектрональных окон вычислялись по формуле (8)

$$\zeta(\varphi, \lambda) = R \sum_{n=N_1}^{N_2} \sum_{m=0}^n (\Delta \bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\sin \varphi), \quad (8)$$

На рис. 2 приведена модель геоида, вычисленного по гармоническим коэффициентам геопотенциала при степенях от $N_1=2$ до $N_2=2190$.

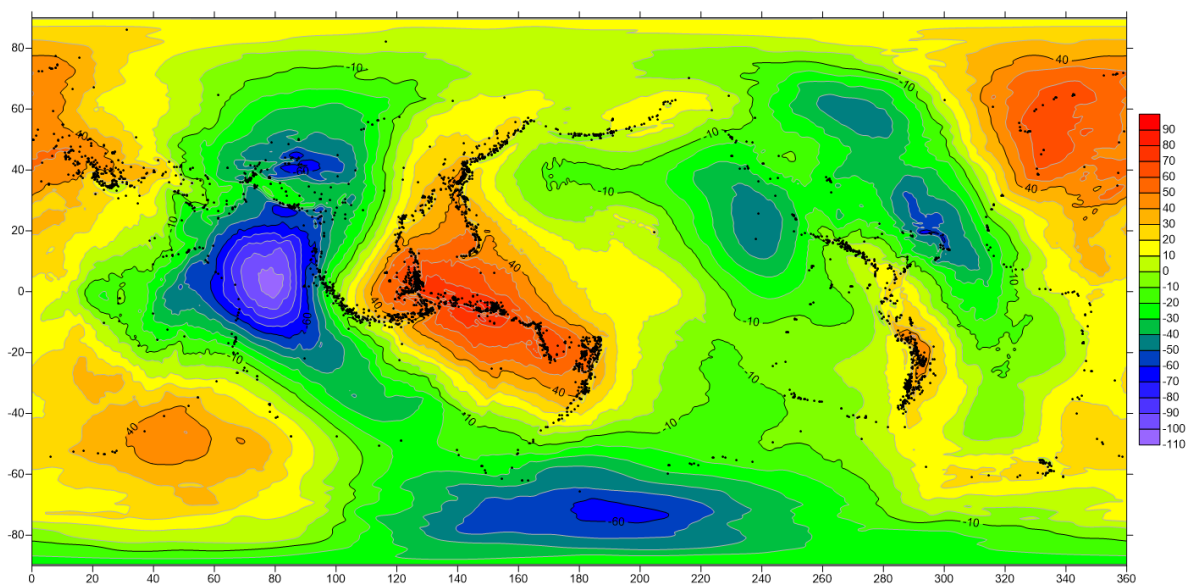


Рис. 2. Модель геоида полученного по гармоническим коэффициентам модели EIGEN-6C4 степени $N=2-2190$ с землетрясениями 2015 года

В геоиде на частоте $N=$ от 2 до 2190 не наблюдается корреляция с напряжениями земной коры.

На рис. 3 приведена модель спектронального геоида, вычисленного по гармоническим коэффициентам геопотенциала при степенях от $N_1=50$ до $N_2=200$. На рис. 3 приведены эпицентры землетрясений 2015 года.

В спектрональном геоиде на частоте $N=$ от 50 до 200 наблюдается сильная корреляция с напряжениями земной коры, отмечена высокая градиентная зона между областями подъема и опускания земной коры, которые представлены, в виде синего цвета и красного цвета соответственно. В результате возникших напряжений и движения плит образуются очаги землетрясений. Анализируя спектрональную модель, можно сделать вывод, что можно использовать модели гравитационного поля Земли для изучения динамик движения земной коры и определения сейсмической активности территорий.

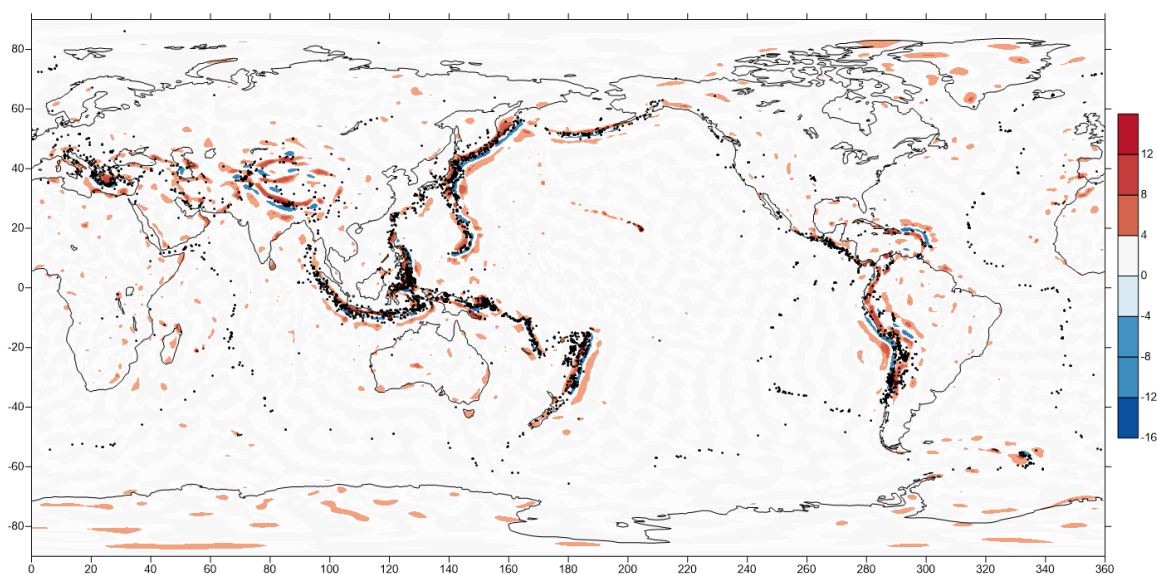


Рис. 3. Модель геоида полученного по гармоническим коэффициентам модели EIGEN-6C4 степени $N=50-200$ с землетрясениями 2015 года

Вывод

В работе было проведено исследование динамики движения земной коры с помощью спектрональных моделей геоида, полученных в результате космических-гравиметрических миссий по моделям геопотенциала, а также выполнено исследование пригодности моделей для определения динамики движения земной коры. В спектрональном геоиде на частоте $N=$ от 50 до 200 видно, как землетрясения попадают в градиентную зону, между поднятием и опусканием геоида. Это дает возможность выполнить прогнозирования зон сейсмической активности с помощью спектрональных моделей геоида. Нужно продолжить работы в этом направлении по установлению связи спектрональных моделей геоида с геодинамическими явлениями с целью прогноза напряженных состояний земной коры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Татевян С. К. Использование спутниковых траекторных измерений для изучения динамики твердой Земли [Текст] : в 2 т. / С.К. Татевян // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2005. – Т.1. – С. 40–48.
2. Татевян С. К. Глобальная геодезическая система GGOS и ее научное значение [Текст] : в 6 т. / С. К. Татевян // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2009. – Т.1. – С. 58–67.
3. Татевян С. К. Использование спутниковых позиционных систем для геодинамических исследований. [Текст] / С. К. Татевян, С. П. Кузин, С. П. Ораевская // Геодезия и картография. – 2004. – № 6. – С. 33–44.
4. Канушин В. Ф., Ганагина И. Г. Современные проблемы физической геодезии : учеб. пособие. – Новосибирск : СГГА, 2013. – 123 с.

5. Канушин В. Ф. Основные принципы прогнозирования аномалий силы тяжести с учетом дополнительной информации. [Текст] / В. Ф. Канушин // Деп. ОНТИ ЦНИИГАиК 28. 08. 82, №90 ГД-Д 82. РЖ. Геодезия и аэрофотосъемка, отд. Вып. 1983. – 33 с.
6. Бузук В. В. Моделирование аномалий силы тяжести на неизученных и слабо изученных участках поверхности Мирового океана по данным о рельефе дна [Текст] / В. В. Бузук, В. Ф. Канушин // Тез. докл. I Всесоюзной конф. по исследованию и освоению ресурсов Мирового океана. – Владивосток, 1976. – С. 110–114.
7. Канушин В. Ф. Дифференцированный подход к определению зависимости аномалий силы тяжести от высоты [Текст] / В. Ф. Канушин // Вопросы математического моделирования в прикладных задачах; Межвузовский сборник научных трудов / НИИГАиК, Новосибирск. 1990. – С. 62–65.
8. International Centre for Global Earth Models (ICGEM) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/> – Загл. с экрана.

© В. Ф. Канушин, М. Н. Кузнецов, 2016