

4. Picone J.M., Hedin A.E., Dro D.P., Aikin A.C. NRLMSISE-00 empirical model of the atmosphere: Statistical comparisons and scientific issues // J. Geophys. Res. – 2002. – V.107, Issue A12. – P. S15-1–S15-16.
5. Ohotzinsky D.E., Eneev T.M., Taratynova G.P. Determination of the lifetime of an artificial Earth satellite and investigation of the secular disturbances of its orbit (In Russian: Охотимский Д.Е., Энеев Т.М., Таратинова Г.П. Определение времени существования искусственного спутника Земли и исследование вековых возмущений его орбиты) // УФН. – 1957. – Т.63, Вып.1. – С. 33–50.
6. USSTRATCOM Satellite Orbits Catalogs [Electronic resource]. – [Cited 2017, 28 Feb.]. – Available from: <http://www.space-track.org/>
7. Britavsky N.E., Koshkin N.N., Shakun L.S. Prognosis of lifetime of low-orbit cosmic objects (In Russian: Бритаевский Н.Э., Кошкин Н.Н., Шакун Л.С. Прогноз времени существования низкоорбитальных космических объектов) // "Изучение объектов околоземного пространства и малых тел Солнечной системы": материалы международной научной конференции. – Николаев: Атолл, 2007. – С. 142–147.
8. Heavens-Above GmbH ("Heavens-Above") hosted by DLR/GSOC [Electronic resource]. – [Cited 2017, 28 Feb.]. – Available from: <http://www.heavens-above.com>

Надійшла до редколегії 13.03.17

М. Ковальчук, канд. физ.-мат. наук,
 Е. Вовчик, канд. техн. наук,
 М. Стодилка, д-р физ.-мат. наук,
 А. Билинский, инж.,
 А. Баран, канд. физ.-мат. наук,
 М. Гирняк, инж., К. Мартынюк-Лотоцкий, инж.,
 Астрономическая обсерватория Львовского национального университета имени Ивана Франко

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ СУЩЕСТВОВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭЛЕМЕНТОВ ОРБИТЫ

Для описания движения искусственных спутников Земли (ИСЗ) в нецентральной поле земного тяготения при наличии сопротивления атмосферы используются дифференциальные уравнения Лагранжа для элементов орбиты. Исследована связь между элементами орбиты ИСЗ на определенный момент времени и дальнейшей продолжительностью существования спутника. Описана методика, дающая возможность быстро и надежно определить время существования ИСЗ на орбите. Для сравнения приведены наблюдаемые сроки существования спутников на орбите, что позволило протестировать предложенной методики расчета. Разница между рассчитанным и наблюдаемым временем существования ИСЗ не превышает 2–3 суток, что достаточно для получения прогнозов времени жизни спутников на орбите.

Ключевые слова: искусственные спутники Земли, элементы орбит, время существования спутника.

M. Koval'chuk, Ph. D., Ye. Vovchik, Ph. D., M. Stodilka, Dr.Sc., A. Bilinsky, eng.,
 O. Baran, Ph.D., M. Hirnyak, eng., K. Martynyuk-Lototsky, eng.,
 Astronomical Observatory of Ivan Franko National University of L'viv, L'viv

DETERMINATION OF THE LIFETIME OF ARTIFICIAL SATELLITES OF THE EARTH DEPENDING ON THEIR ELEMENTS OF ORBIT

Lagrange equations for the elements of orbit are used for description of the motion of artificial satellites of the Earth in noncentral Earth's gravity field at the presence of atmospheric drag. Relation between the elements of orbit of satellites at a certain time and further duration of the existence of satellites is investigated. We described the method that enables to define quickly and reliably the lifetime of satellites on an orbit. For comparison, the actual lifetimes of the selected satellites are brought, it gave an opportunity to test the presented calculation method. The error of the calculated and observed times of an existence of satellites does not exceed 2–3 days, so it is sufficiently for predictions of the lifetime of satellites on an orbit.

Key words: artificial satellites of the Earth, elements of an orbit, lifetime of a satellite.

УДК 521.16; 550.34

А. Казанцев, канд. физ.-мат. наук,
 Л. Казанцева, канд. физ.-мат. наук,
 Астрономічна обсерваторія

Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ

ПОШУК МОЖЛИВИХ ЗВ'ЯЗКІВ ГРАВІТАЦІЙНОГО ВПЛИВУ СОНЦЯ Й МІСЯЦЯ ІЗ ЗЕМЛЕТРУСАМИ

Якщо існує вплив Місяця й Сонця на виникнення землетрусів, то фізична природа такого впливу може бути лише гравітаційною. Можливий гравітаційний вплив викликає рівнодійна припливних сил цих тіл, а не їх окрема дія. Виконано розрахунки припливних сил Місяця й Сонця та їх рівнодійної для різних моментів часу і координат гіпоцентрів. Наведено попередні висновки про можливий вплив цих двох космічних тіл на виникнення землетрусів для різних точок земної поверхні та різних глибин.

Ключові слова: землетрус, припливна сила, Місяць, Сонце.

Вступ. Вплив Сонця й Місяця на землетруси вивчається вже понад століття. В останні роки кількість публікацій на цю тему зростає. В них гравітаційний вплив космічних тіл цілком логічно розглядається не як причина виникнення землетрусів, а як спусковий механізм, що в окремих випадках приводить до вивільнення енергії, накопиченої в надрах Землі самими ж підземними процесами. У переважній більшості публікацій на цю тему шукаються кореляційні зв'язки між кількістю та потужністю сейсмічних подій із фазами Місяця [3, 5, 6], відстанню Місяця від Землі [4], із періодом доби [5, 6].

Зрозуміло, що спусковий механізм дії Місяця й Сонця на виникнення землетрусів може бути лише гравітаційної природи. Зміщення порід в окремих гіпоцентрах відбувається під дією припливних сил. Припливна сила від окремого тіла (F_t) є векторною різницею між силою тяжіння з боку даного тіла в точці гіпоцентра F_h і силою тяжіння в центрі Землі F_c : $F_t = F_h - F_c$. Якщо точно, то слід казати про дію припливного прискорення, оскільки сила тяжіння зовнішнього тіла в центрі Землі та в гіпоцентрі прикладена до мас істотно різної величини. Оскільки термін "припливна сила" широко вживаний, то і ми також будемо його використовувати.

Зрозуміло, що зміщення порід відбувається під дією та в напрямку рівнодійної припливних сил з боку Місяця (F_M) та з боку Сонця (F_S). Рівнодійна визначається як векторна сума припливних сил: $F_R = F_M + F_S$. Саме векторна величина F_R має розглядатися як спусковий механізм з боку Місяця та Сонця, що може приводити до виникнення землетрусів. Тому для з'ясування можливого впливу цих космічних тіл на землетруси слід шукати зв'язки характеристик землетрусів (частота, магнітуда, глибина та ін.) із величиною та напрямком F_R на моменти виникнення сейсмічних подій. Пошук зв'язків з іншими параметрами (фази Місяця, положення на орбіті та відстані тіл від Землі, час доби та ін.) може лише ускладнити та заплутати дослідження даної проблеми. Особливо сумнівним є пошук кореляцій характеристик землетрусів з періодом доби. Зрозуміло, що кореляція з періодом доби означає кореляцію з положенням Сонця відносно горизонту. А це, у свою чергу, прив'язує виникнення землетрусів до напрямку та величини припливної сили з боку Сонця, що з погляду фізики помилково.

Обчислення та характеристики припливних сил та їх рівнодійної. Припливна сила, як і будь-яка сила є векторною величиною. Для визначення компонент припливних сил з боку Місяця використовувалися аналітичні формули обчислення небесних координат та геоцентричних відстаней Місяця, наведені в [2]. Відмінності відстаней, отриманих за цими формулами із відповідними значеннями, вирахованими за сучасною програмою DE406/LE406 не перевищують 0.5 %. Компоненти припливних сил з боку Сонця обчислювалися за геоцентричними координатами Сонця, отриманими методом чисельного інтегрування рівнянь руху всіх планет Сонячної системи, описаному в [1].

Напрямок припливної сили в певній точці поверхні Землі (чи під нею) має характерну залежність від висоти тіла, яке спричиняє цю силу, відносно горизонту. Така залежність добре відома для Місяця на прикладі припливів та відпливів (рис. 1). Припливна сила направлена в зеніт, якщо Місяць знаходиться як у зеніті, так і в надирі. Тоді спостерігаються припливи. Якщо Місяць знаходиться поблизу горизонту ($hM = -0.5^\circ$), то припливна сила направлена в вертикально вниз (в надир). При цьому відбуваються відпливи. Оскільки нас цікавлять припливні зміщення не в океані, а в тілі Землі, то напрямок припливної сили вказує на розтягування та стиснення кори чи нижніх земних шарів.

Зазвичай вважається, що припливна сила з боку Місяця приблизно в два рази перевищує припливну силу з боку Сонця. Однак це лише усереднене в часі співвідношення. Інколи величина F_M у 5 разів перевищує величину F_S , а іноді ці сили майже зрівнюються (рис. 2).

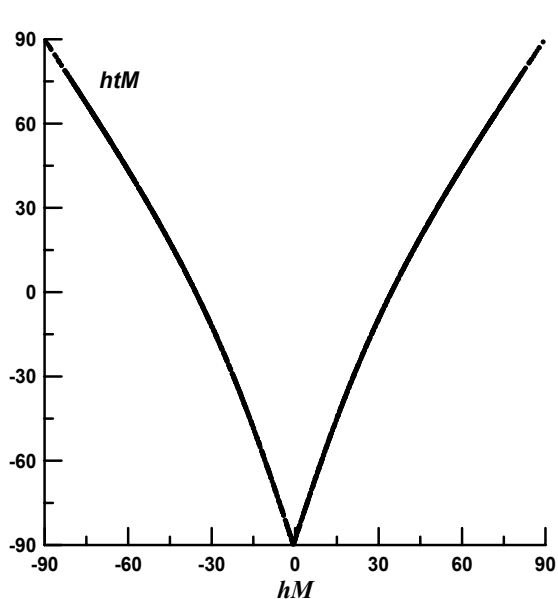


Рис. 1. Залежність напрямку припливної сили з боку Місяця (htM) від його висоти відносно горизонту (hM)

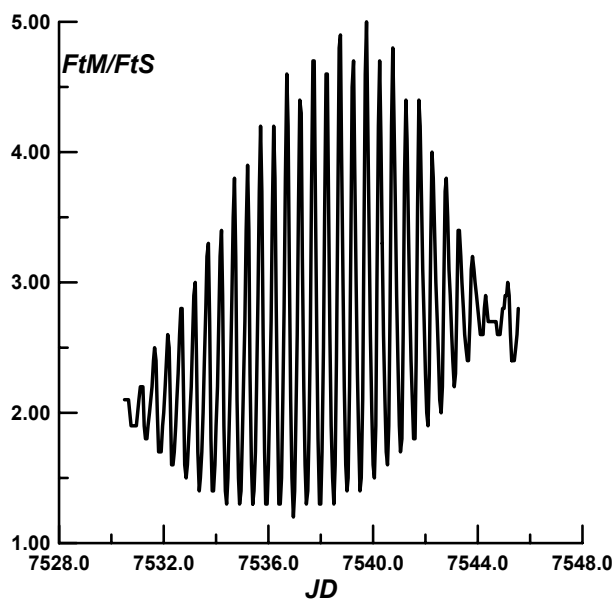


Рис. 2. Зміна із часом відношення припливних сил Місяця та Сонця протягом 15 діб

На рис. 2 по осі абсцис відкладені юліанські дні, зменшені на 2450000, що відповідає датам від 22.05.2016 р. до 06.06.2016 р. Наведена залежність зайвий раз свідчить про безпідставність пошуків зв'язків землетрусів із окремими параметрами Місяця чи Сонця. Величина рівнодійної припливних сил також помітно залежить від висоти напрямку вектора F_R відносно горизонту, h (рис. 3). Залежність $F_R(h)$ обчислена на інтервалі часу один рік і покриває весь можливий діапазон змін.

Із рис. 3 видно, що величина рівнодійної, направленої вертикально вниз ($h = -90^\circ$) приблизно в два рази менше величини цієї сили, направленої вертикаль вгору ($h = +90^\circ$). Отже, припливна сила стиснення земної кори приблизно в два рази менша сили розтягування. Така особливість припливної сили також може заслуговувати на увагу при пошуках зв'язків із землетрусами. Діапазон змін величини F_R істотно різний для різних широт. При невеликих широтах ($-25^\circ < \varphi < 25^\circ$) максимальне значення рівнодійної в одному пункті на поверхні Землі може перевищувати мінімальне в 40 разів, поблизу полюсів ($85^\circ < \varphi$ та $\varphi < -85^\circ$) – менше ніж у два рази (рис. 4). Найбільших значень величина F_{MS} досягає в зоні широт $\pm 30^\circ$.

Отримані й інші особливості сили F_R для різних широт та глибин. Зокрема, на високих широтах ($80^\circ < \varphi$ та $\varphi < -80^\circ$) рівнодійна постійно направлена під землю. Зрозуміло, що припливні сили, як і їх рівнодійна зменшуються з глибиною. На глибинах 700 км рівнодійна на 12 % менша, ніж на поверхні. Можна зробити припущення, що вплив Місяця й Сонця буде сильніше впливати на виникнення землетрусів на відносно менших глибинах та поза межами полярних зон Землі.

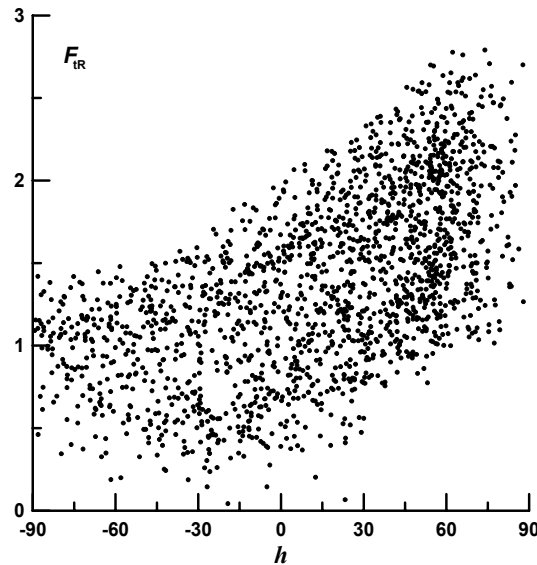


Рис. 3. Залежність величини рівнодіної припливних сил від її напрямку відносно горизонту

Відносно менша кількість землетрусів на великих широтах підтверджується наявними даними. В нашому розпорядженні є база даних понад 50000 сейсмічних подій за 2001–2011 р., отриманих від філіалу Головного центру спеціального контролю національного космічного агентства України (Макарів 1). За цими даними кількість землетрусів (на одиницю площі поверхні) на високих широтах ($70^\circ < \varphi$ та $\varphi < -70^\circ$) щонайменше в двічі менше, ніж в екваторіальних та середніх широтах, де й розташовані головні сейсмічно активні зони Землі. Таке розташування сейсмічно активних зон не варто пояснювати сильнішим сучасним впливом Місяця й Сонця. Однак, зрозуміло, що різниця припливних космічних тіл для різних широт Землі діє протягом сотень мільйонів років. Тому така відмінність за тривалий час могла сприяти більш швидкому затуханню тектонічних процесів на великих широтах порівняно з меншими широтами.

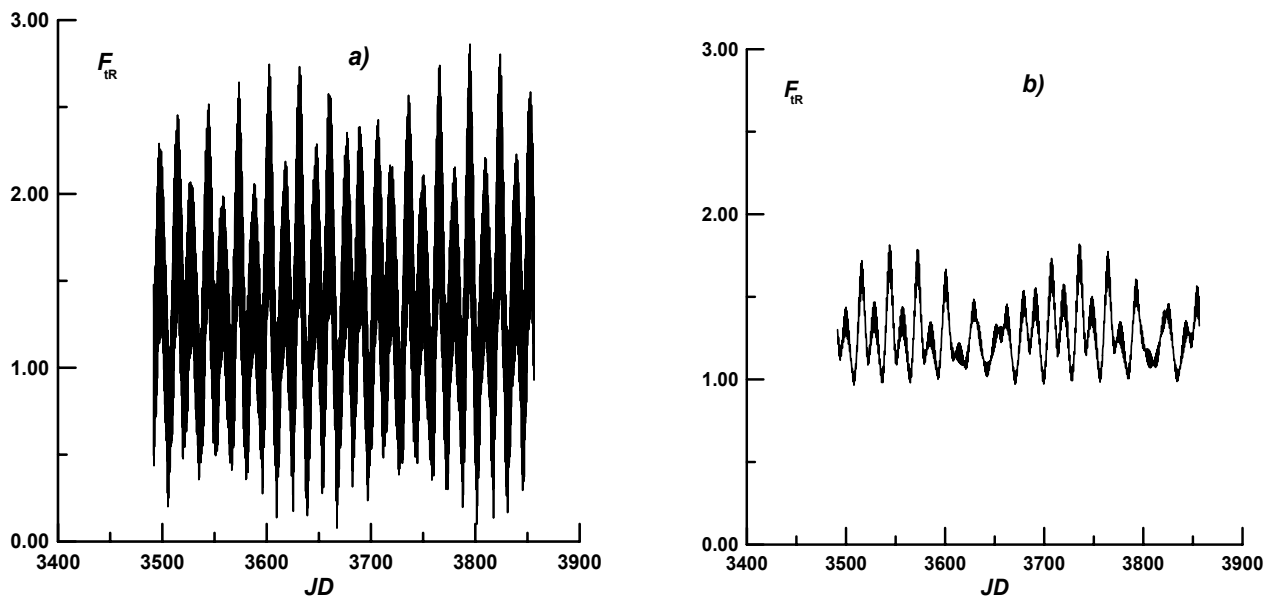


Рис. 4. Зміна величини F_{tr} протягом року для широти 25° (a) та для широти 85° (b)

Оскільки гравітаційний вплив Місяця й Сонця, як спускового механізму у вогнищі землетрусу має визначатися величиною та напрямком сили F_{tr} , то зрозуміло, що однакові значення цієї сили будуть по-різному діяти в кожному гіпоцентрі. Адже в кожному гіпоцентрі для вивільнення накопиченої енергії землетрусу потрібно задіяти різний за напрямком та величиною спусковий механізм. Отже, реальний фізичний вплив Місяця й Сонця на землетруси слід аналізувати для окремих гіпоцентрів чи близько розташованих зон.

Висновки. Якщо існує вплив Місяця й Сонця на виникнення землетрусів, то фізична природа такого впливу може бути лише гравітаційною. Можливий гравітаційний вплив викликає рівнодіна припливних сил Місяця й Сонця, а не їх окрема дія. Вплив Місяця й Сонця буде сильніше впливати на виникнення землетрусів на відносно менших глибинах та поза межами полярних зон Землі.

Вплив Місяця й Сонця на землетруси слід аналізувати для окремих гіпоцентрів чи близько розташованих зон. Для цього потрібно мати якомога повніший масив даних землетрусів у гіпоцентрі та точні розрахунки рівнодіної припливних сил.

Список використаних джерел

1. Kazantsev A. M. The simple numerical method of near-Earth asteroids orbits calculations / A. M. Kazantsev (in rus.: Казанцев А. М. Простой метод численных расчетов эволюции орбит околоземных астероидов) // Astron. Vestnik, 2002. – Vol. 36. – № 1. – P. 48–54.
2. Reference guide on celestial mechanics and astrodynamics ; Eds. G. N. Duboshina (in rus.: Справочное руководство по Небесной механике и астеродинамике ; под ред. Г. Н. Дубошина). – Moscow : Nauka, 1978. – 852 p.
3. Chen L. Correlations between solid tides and worldwide earthquakes $M_S \geq 7.0$ since 1900 / L. Chen, J. G. Chen, Q. H. Xu // Natural Hazards and Earth System Sci., 2012. – Vol. 12, Is. 3. – P. 587–590.
4. Knopoff L. Correlation of Earthquakes with Lunar Orbital Motions / L. Knopoff // The Moon, 1970. – Vol. 2, Is. 2. – P. 140–143.
5. Sadeh Dror S. Search for sidereal periodicity in earthquake occurrences / Dror S. Sadeh, Meir Meidav // J. of Geophysical Research, 1973. – Vol. 78, Is. 32. – P. 7709–7716.
6. Weems Robert E. Strong correlation of major earthquakes with solid-earth tides in part of the eastern United States / Robert E. Weems, H. Jr. Perry William // Geology, 1989. – Vol. 17, Is. 7. – P. 661.

Надійшла до редколегії 12.07.16

А. Казанцев канд. физ.-мат. наук, Л. Казанцева, канд. физ.-мат. наук,
Астрономическая обсерватория
Киевского национального университета имени Тараса Шевченко, Киев

**ПОИСК ВОЗМОЖНЫХ СВЯЗЕЙ ГРАВИТАЦИОННОГО ВЛИЯНИЯ
СОЛНЦА И ЛУНЫ С ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ**

Если существует влияние Луны и Солнца на возникновение землетрясений, то физическая природа такого влияния может быть лишь гравитационной. Возможное гравитационное влияние вызывает равнодействующая приливных сил этих тел, а не их отдельное действие. Выполнены расчеты приливных сил Луны и Солнца и их равнодействующей для различных моментов времени и координат гипоцентров. Сделаны предварительные выводы о возможном влиянии этих двух космических тел на возникновение землетрясений для разных точек земной поверхности и глубин гипоцентров.

Ключевые слова: землетрясение, приливная сила, Луна, Солнце.

A. Kazantsev, Ph. D., L. Kazantseva, Ph. D.
Astronomical Observatory of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

**A SEARCH FOR POSSIBLE CONNECTIONS OF GRAVITATIONAL INFLUENCE
OF THE SUN AND THE MOON WITH EARTHQUAKES**

If there is an influence of the Moon and Sun on occurrence of earthquakes, the physical nature of such influence can only be the gravitational. A possible gravitational influence is caused by the resultant tidal forces of those bodies, but not by their separate actions. There were calculated tidal forces of the Moon and the Sun and their resultant force for different time moments and hypocenter coordinates. Previous conclusions about a possible influence of those two cosmic bodies on occurrence of the earthquakes in different coordinates and depths of the hypocenters were made.

Key words: earthquake, tidal force. Moon, Sun.

УДК 524.8

С. Парновський, д-р фіз.-мат. наук,
Астрономічна обсерваторія
Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ

**ВЕЛИКОМАСШТАБНІ РУХИ ГАЛАКТИК: ПЕРЕВІРКА МОДЕЛІ DIPOLE REPELLER
ЗА ДАНИМИ ПРО RFGC ГАЛАКТИКИ**

Показано, що дані про колективні рухи галактик каталогу RFGC не підтверджують і не суперечать гіпотезі про існування двох аттракторів, які домінують у полі колективних швидкостей нехаблівських рухів галактик, один з яких є відштовхувачем. Відхилення спостережувальних даних від тих, що передбачає мультипольна модель з додатковим аттрактором, істотно не зменшуються порівняно з мультипольною моделлю без аттрактора.

Вступ. Причиною великомасштабних рухів галактик є неоднорідності у густині матерії, разом з темною, у різних ділянках Всесвіту. На масштабах менших за $200\text{--}300\text{ h}^{-1}\text{ Мпк}$ він достатньо неоднорідний. Є місця зі збільшеною густиною матерії, наприклад надскупчення галактик, є пустоти або войди, де густина матерії значно менша за середню фонову густину ρ_b . Контраст густини δ характеризує відхилення густини у певному місці $\rho(\vec{r})$ від середньої та дорівнює

$$\delta(\vec{r}) = \frac{\rho(\vec{r})}{\rho_b} - 1. \quad (1)$$

Зрозуміло, що ця величина може бути від'ємною у областях з меншою густиною, але $\delta > -1$. У надскупченнях ця величина натомість може бути досить великою. Утворення надскупчень є результатом росту початкових флуктуацій густини на більших масштабах, ніж утворення маломасштабних флуктуацій маси. У лінійній теорії збурень вони пов'язані співвідношенням

$$\delta_c = b_c \delta, \quad (2)$$

де δ_c – це контраст густини у кластерах (скупченнях), δ – це контраст густини для галактик, а b_c – так званий параметр байсінгу. Разом із відсотком середньої густини матерії від критичної густини ρ_{cr} , який позначають $\Omega_m = \rho / \rho_{cr}$, він входить у формули, які описують нехаблівський великомасштабний колективний рух галактик [7]:

$$\vec{v}(\vec{r}) = \frac{\beta}{4\pi} \int \delta(\vec{r}') \frac{\vec{r} - \vec{r}'}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} d^3\vec{r}', \quad \beta \approx \frac{\Omega_m^{0.6}}{b_c}. \quad (3)$$

За спостережними даними $\beta \approx 0.2$.