

УДК 528.389:551.242

В.Г. Колмогоров

СГГА, Новосибирск

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ

На примере пространственно-временного изменения высоты точки земной поверхности представлена методика изучения основных геокинематических параметров, под которыми понимаются деформации земной поверхности, обусловленные перемещением в пространстве.

геодезическая высота, современные вертикальные движения земной поверхности (СВДЗП), скорость СВДЗП.

V.G. Kolmogorov

SSGA, Novosibirsk

MATHEMATICAL FORMULATION OF RECENT EARTH CRUST MOTION

With the example of spatio-temporal changing of the earth's surface point there is represented the technique of general geokinematic parameters study, i.e. earth's surface deformations, which are specified by e displacement in space.

geodetic level, recent earth crust vertical motion (RECVM), speed of RECVM.

Под основными параметрами современных движений земной коры понимаются как вертикальные и горизонтальные движения земной поверхности и ее деформации, так и вариации геофизических полей во времени, главным образом – гравитационных аномалий, так как последние являются одной из причин изменения во времени геодезических высот. Теоретически взаимосвязь между вышеуказанными параметрами нам представляется следующим образом (рис. 1).

Считая высотой (в произвольной пространственной системе координат) расстояние между двумя точками $A(x_a, y_a, z_a) \in S$, $B(x_b, y_b, z_b) \in S_0$ по нормали $(x_a - x_b)/[D_x S_0(B)] = -[S(A) - S_0(B)]$ к поверхности S_0 в точке B , где $S(A)$ и $S_0(B)$ – аналитические образы поверхностей S и S_0 соответственно, D_i – оператор дифференцирования, высоту $H(A, B, t)$ в момент t и скорость ее изменения $V_H(A, B, t)$ можно представить в виде:

$$H(A, B, t) = [S(A, t) - S_0(B, t)] [1 + (D_x S_0)^2 + (D_y S_0)^2]^{1/2}, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} V_H(A, B, t) = & V_H(t) + [x_a D_x S(A, t) + y_a D_x S(B, t)] [1 + (D_x S_0)^2 + (D_y S_0)^2]^{1/2} - \\ & - [x_b D_x S_0(B, t) + y_b D_y S(B, t)] [1 + (D_x S_0)^2 + (D_y S_0)^2]^{1/2} + \\ & + [S(A, t) - S(B, t)] (D_{xx} S_0 D_y S_0 - D_x S_0 D_{yy} S_0) [1 + (D_x S_0)^2 + (D_y S_0)^2]^{-1/2}. \quad (2) \end{aligned}$$

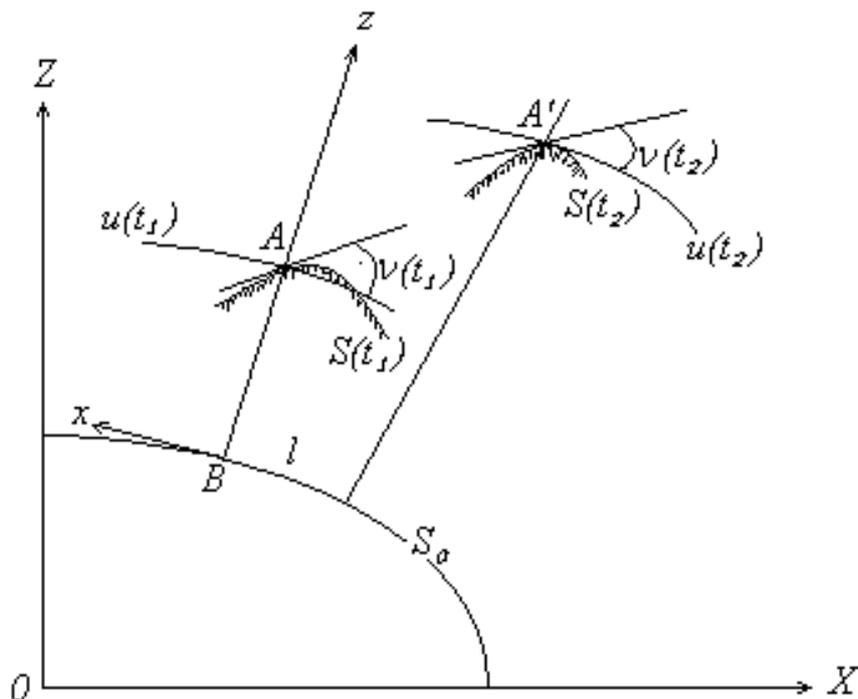


Рис. Изменение геодезической высоты во времени:

$S(t_1), S(t_2)$ – физическая поверхность в моменты t_1 и t_2 ; S_0 – поверхность эллипсоида; $u(t_1), u(t_2)$ – уровенные поверхности точки A в моменты t_1 и t_2 ; l – горизонтальное смещение точки A ; $v(t_1), v(t_2)$ – углы наклона поверхности S в моменты t_1 и t_2

Первый член выражения (2) определяет скорость вертикального перемещения точки A , а последние три характеризуют скорость изменения высоты вследствие горизонтальных смещений точек $A \in S$ и $B \in S_0$ и деформации поверхностей S и S_0 .

Исходя из определения геодезической высоты, поверхность S_0 является неизменяющимся во времени эллипсоидом (референц-эллипсоидом). В топоцентрической системе координат, определяемой внешним направлением нормали к эллипсоиду, с которой совпадает аппликата, а оси абсцисс и ординат расположены в плоскостях меридиана и первого вертикала с положительным направлением на север и восток, соответственно, выражения (1) и (2) принимают вид:

$$H(A, B, t) = S(A, t) - S_0(B, t); \quad (3)$$

$$V_H(A, B, t) = V_x^A D_x S(A, t) + V_y^A D_y S(A, t) + D_z z(t), \quad (4)$$

где $D_x S = \operatorname{tg} v_x = i_x$, $D_y S = \operatorname{tg} v_y = i_y$ – тангенсы углов наклона (уклоны) земной поверхности в плоскостях меридиана и первого вертикала соответственно (под углом наклона v понимается угол между касательными плоскостями к

поверхности S и уровенной поверхности в точке наблюдения), V_x^A, V_y^A, V_z^A – скорости горизонтальных и вертикальных смещений точки A .

Тогда

$$V_H(A, B, t) = V_x \operatorname{tg} v_x + V_y \operatorname{tg} v_y + V_z.$$

Учитывая, что $V_x = V_l \cos a$ и $V_y = V_l \sin a$, где V_l – скорость горизонтального смещения точки $A \in S$ в направлении a , выражение (4) можно записать следующим образом:

$$V_H(A, B, t) = (i_x \cos a + i_y \sin a) V_l + V_z. \quad (5)$$

В практике изучения современных вертикальных движений земной коры (СВДЗК) первым членом выражения (5) пренебрегают, и тогда

$$V_H(A, B, t) = V_z, \quad (6)$$

т. е. считается, что скорость изменения высоты определяется скоростью изменения аппликаты в выбранной системе топоцентрических координат. На местности же с уклонами $i \gg 0,02$ и горизонтальными подвижками со скоростью $V_l > 10$ мм/год, что нередко имеет место в тектонически активных районах (где и расположены, в основном, геодинамические полигоны), компонент $\delta V_H = (i_x \cos a + i_y \sin a) V_l$ может внести в значение скорости вертикальных смещений земной поверхности существенный вклад, сравнимый по величине с погрешностями измерений. Действительно, если $i_x = i_y = 0,06$, $V_l = 10$ мм/год, $a = 45^\circ$, то $\delta V_H = 0,85$ мм/год (для сравнения: средняя квадратическая случайная ошибка нивелирования 1 км двойного хода оптическим нивелиром по программе 1 класса характеризовалась величиной $\eta = 0,5 - 0,8$ мм/км). При выполнении прецизионного нивелирования на геодинамических полигонах горизонтальный компонент СВДЗК, как правило, не определялся, и его влияние не учитывалось.

Формула (5) позволяет изучать разнообразные пластические деформации земной поверхности, например, оползни, где одновременно проявляются большие вертикальные и горизонтальные движения земной поверхности.

При изучении землетрясений и вулканической деятельности важное значение имеют не только скорости деформаций земной поверхности, но особенно характер изменения скоростей во времени. В этой связи при выполнении над величиной $V_{H(t)}$ – материальной скоростью изменения высот – подобных предыдущим операций, «дифференциальное уравнение» ускорения изменения высот будет иметь вид

$$D_t V_{H(A, B, t)} = \sum V_i D_i H(A, B, t) + D_t H(A, B, t), \quad i = 1, 2, 3, 4; \quad (7)$$

или, дифференцируя по времени выражение (5), получим

$$D_t V_H(A, B, t) = (\operatorname{tg} v_x \cos a + \operatorname{tg} v_y \sin a) D_t V_l + (V_{v_x} \sec^2 v_x \cos a +$$

$$+ V_y \sec^2 v_y \sin a) D_t V_l / \rho'' + (\operatorname{tg} v_y \cos a - \operatorname{tg} v_x \sin a) D_t V_l a / \rho'' + D_t V_{z(t)}. \quad (8)$$

Первые три члена формулы (8) характеризуют ускорение изменения высоты, обусловленное: ускорением горизонтальных смещений l , скоростью изменения наклона земной поверхности в плоскостях меридиана v_x и первого вертикала v_y , скоростью изменения направления (азимута или дирекционного угла) a линейного элемента V_l . Последний член $D_t V_{z(t)}$ – ускорение собственно вертикальных движений.

В рассмотренной системе координат смещения точек земной поверхности определяются по формулам (4)–(8) без учета влияния гравитационного поля Земли и его вариаций. Такой подход возможен при изучении СВДЗП, во-первых, на небольших территориях, где влияние вариаций направлений отвеса на результаты нивелирования пренебрегаемо мало, а уровенные поверхности считаются плоскими и, во-вторых, при определении взаимного положения точек земной поверхности с помощью спутникового геометрического метода, который не нуждается в каких-либо данных об элементах гравитационного поля Земли.

В заключение хочется выразить надежду, что использование новейшей измерительной и вычислительной техники в недалеком будущем позволит надежно определять описанные тонкие эффекты, играющие немаловажную роль в изучении современных геокинематических процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колмогоров, В.Г. Теоретические основы изучения современных деформаций земной поверхности / В.Г. Колмогоров // ГЕО-Сибирь-2010. Т. 1. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. Ч. 2: сб. матер. VI Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2010», 19–29 апреля 2010 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2010. – 216 с.

Получено 28.06.2010

© В.Г. Колмогоров, 2010