Для цитирования: Асланов Т.Г., Мусаева У.А. Анализ плотности распределения ошибок в определении координат очага землетрясения по методам сфер и эллипсоидов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019; 46(2): 61-70. DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-2-61-70

For citation: Aslanov T. G., Musaeva U.A. Analysis of error distribution density in determining the coordinates of earthquake in the methods of spheres and ellipsoids. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2019; 46 (2): 61-70. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-2-61-70

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 550.34.01

DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-2-61-70

АНАЛИЗ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОШИБОК В ОПРЕДЕЛЕНИИ КООРДИНАТ ОЧАГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ПО МЕТОДАМ СФЕР И ЭЛЛИПСОИДОВ

Асланов Т.Г.¹, Мусаева У.А.²

¹⁻²Дагестанский государственный технический университет,

¹⁻²367026, г. Махачкала, пр.И.Шамиля, 70, Россия,

¹e-mail: tabasik@gmail.com, ²e-mail: uma9@list.ru

Резюме: Цель. Целью исследования является получение выражения для определения координат очага землетрясения методом эллипсоидов, а также проверки возможности использования методов с использованием фигур второго порядка эллипсоида при первоначальном определении координат гипоцентра землетрясения. **Метод.** Проводится сравнительный анализ плотностей распределения вероятностей ошибок в определении гипоцентра землетрясения для метода сфер, комбинированного метода сферы, эллипсоида и гиперболоида и метода эллипсоидов. **Результат.** Получено выражение для определения координат очага землетрясения методом эллипсов, а также получены плотности распределения ошибок. Получен график распределения ошибок в определении гипоцентра землетрясения при разных размещениях сейсмодатчиков и для различных значений ошибок в определении разностей времен пробега сейсмических волн. **Вывод.** Методы, использующие для определения координат гипоцентра эллипсоид, имеют большие ошибки по сравнению с методом сфер. Это объясняется тем, что при определении координат гипоцентра в методе сфер применяется три ошибки в определении разности времен пробега сейсмических волн, в то время как в методе эллипсоидов и комбинированном методе сферы эллипсоида и гиперболоида четыре ошибки, что и вносит итоговые ошибки в распределение. Все полученные зависимости распределения ошибок имеют вид близкий к распределению Коши.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмодатчик, сфера, гиперболоид, уравнение, метод эллипсоидов, ошибка

COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT
ANALYSIS OF ERROR DISTRIBUTION DENSITY IN DETERMINING THE
COORDINATES OF EARTHQUAKE FOCUS IN THE METHODS OF SPHERES AND
ELLIPSOIDS

Tagirbek G. Aslanov¹, Uma A. Musaeva²

¹⁻²Daghestan State Technical University,
¹⁻²367026, Makhachkala, I. Shamil Ave., 70, Russia,
¹e-mail: tabasik@gmail.com, ²e-mail: uma9@list.ru

Abstract Objectives The purpose of the study is to obtain an expression for determining the coordinates of the earthquake focus using the ellipsoid method, as well as testing the possibility of using the method using the figures of the second order of the ellipsoid during the initial determination of the coordinates of the earthquake hypocenter. **Method** A comparative analysis of the probability density of errors in the hypocentral zone of the earth's surface, in combination with various spheres, ellipsoid and hyperboloid and ellipsoids, is carried out. **Result** Obtained an expression for determining the coordinates of the earthquake focus by the method of ellipsoids, as well as the density of the distribution of error probabilities in the determination of the earthquake hypocenter the in calculations by the method of spheres, by the combined method of spheres, hyperboloid and ellipsoid, and also by the method of ellipsoids. **Conclusion** Methods used to determine the coordinates of the hypocenter ellipsoid, have large errors in comparison with the method of areas. This can explained by the fact that in determining the coordinates of the hypocenter in the sphere method, three errors are used in determining the difference in the travel times of seismic waves, while in the ellipsoid method and the combined method of the sphere of the ellipsoid and hyperboloid have four errors, which introduces final errors in the distribution. All the obtained dependences of the error distribution have the form close to the Cauchy distribution.

Keywords: earthquake, seismic sensor, sphere, hyperboloid, equation, ellipsoid method, error

Введение. В Федеральном государственном бюджетном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» разработаны программы [1-4], позволяющие по магнитуде и глубине очага землетрясения, плотности населения, типам застроек в районе землетрясения [5-7], времени суток и т.д. оценить возможные людские потери [8]. Это дает возможность оперативно решить вопрос о привлечении к спасательным работам необходимого количества материальных, технических и людских ресурсов. Иногда, из-за неверного определения глубины очага и эпицентра землетрясения, оценки потерь бывают не достоверными, [9-15].

В настоящее время определение координат очага землетрясения, в основном, производится по временам пробега поперечной и продольной сейсмических волн на сейсмодатчики [16, 17]. При этом, основной причиной возникновения ошибок в определении координат очага землетрясения является не правильный выбор сейсмодатчиков [14, 17-20].

В работе приводятся математические зависимости для определения плотностей распределения вероятностей ошибок в определении гипоцентра землетрясения по методам сфер [21], комбинированного метода сферы, эллипсоида и гиперboloида [22] и метода эллипсоидов [23].

Постановка задачи. Для нахождения математических выражений для расчета плотности распределения вероятностей ошибок при определении координат гипоцентра землетрясения использовались методы сфер, комбинированный метод сферы, эллипсоида и гиперboloида и метод эллипсоидов.

При этом, для расчетов координат гипоцентра землетрясения используются величины скоростей поперечной и продольной сейсмических волн.

В методах сфер и эллипсоидов, кроме значений скоростей сейсмических волн, при расчетах координат гипоцентра землетрясения используется разности времен пробега сейсмиче-

ских волн на сейсмодатчики, а в комбинированном методе сферы, эллипсоида и гиперboloида разности времен прихода сейсмических волн на все сейсмодатчики и разность времен прихода продольной волны к двум сейсмодатчикам.

Во всех рассматриваемых методах заранее задаются возможные ошибки в определении разностей времен пробега сейсмических волн. По исходным данным, с учетом ошибок в определении разностей времен пробега сейсмических волн и без них, определяются глубины и координаты эпицентров землетрясений. Разности значений глубин и координат эпицентров землетрясения определяют невязку.

В работе получены графики распределения ошибок в определении координат гипоцентра землетрясения при различных размещении сейсмодатчиков и для различных значений ошибок в определении разностей времен пробега сейсмических волн.

Методы исследования. В работе [21] получена формула, позволяющая вычислить координаты очага землетрясения методом сферы:

$$\begin{cases} X = \frac{R_2^2 Y_3 - Y_3 X_2^2 - Y_2^2 Y_3 - Y_2 X_3^2 + Y_3^2 Y_2 + R_1^2 Y_2 - R_3^2 Y_2 - R_1^2 Y_3}{2(Y_2 X_3 - X_2 Y_3)} \\ Y = \frac{R_2^2 X_3 - X_3 Y_2^2 - X_2^2 X_3 - X_2 Y_3^2 + X_3^2 X_2 + R_1^2 X_2 - R_3^2 X_2 - R_1^2 X_3}{2(X_2 Y_3 - Y_2 X_3)} \\ Z = \sqrt{R_1^2 - X^2 - Y^2} \end{cases} \quad (1)$$

где X, Y, Z – координаты гипоцентра землетрясения;

X_i, Y_i – координаты соответственно второго и третьего сейсмодатчика;

R_i – радиусы сфер, в центрах которых расположены сейсмодатчики с радиусами равными расстоянию до гипоцентра землетрясения, которые задаются формулой

$R_i = t_i V_1 V_2 / (V_2 - V_1)$;

V_1, V_2 – скорости соответственно поперечной и продольной волны;

t_i – разность времен прихода сейсмических волн к сейсмодатчику.

В работе [22] приведена формула, позволяющая вычислить координаты очага землетрясения комбинированным методом сферы, эллипсоида и гиперboloида:

$$\begin{cases} X = \frac{C_u(X_2^2 - t_r^2 V_1^2)}{2(t_r V_1 + X_2 C_u)}; \\ Y = \frac{(X_3 - X)^2 + Y_3^2 + R_e^2 - X^2 - R_3^2}{2Y_3}; \\ Z = \sqrt{R_1^2 - X^2 - Y^2}, \end{cases} \quad (2)$$

где

$$R_e = \frac{X_2^2 - t_r^2 V_1^2}{2(t_r V_1 + X_2 C_u)};$$

$$C_u = \frac{k((t_1 + t_2)(X_2^2 - t_r^2 V_1^2)(1 - k) - t_r k V_1^2 (t_1 + t_2)^2) + t_r X_2^2 (1 - k)^2}{V_1 X_2 (k^2 (t_1 + t_2)^2 - t_r^2 (1 - k)^2)}, \quad (3)$$

где t_r – разность времен прихода сейсмической волны к двум сейсмодатчикам;

$k = V_2 / V_1$.

Следует отметить, что в приведенных двух формулах расчета гипоцентра первый сейсмодатчик является опорным и расположен в начале координат, а в комбинированном, считается, что второй сейсмодатчик расположен на оси абсцисс.

Задавая ошибку в определении разности времен прихода сейсмических волн, можно определить координаты гипоцентра с учетом ошибки. Разность координат очага землетрясения, вычисленной с учетом ошибок в измерении разности времен прихода сейсмических волн и без них позволяет определить зависимость ошибки в определении гипоцентра землетрясения от значений ошибок в измерении разностей времен прихода сейсмических волн.

Ставится задача получить выражение для определения координат очага землетрясения методом эллипсов. В работе [24] получено уравнение для определения радиуса от опорного сейсмодатчика до гипоцентра землетрясения методом гипербол:

$$\begin{aligned} R = & (S_1 S_2 S_3 (S_3 \sin \alpha\beta - S_2 \sin \alpha\gamma) + S_1 (\Delta t_2^2 S_3 \sin \alpha\gamma - \Delta t_3^2 S_2 \sin \alpha\beta) \\ & + S_1^2 S_3 S_2 \sin(\alpha\gamma - \alpha\beta) \\ & + \Delta t_1^2 S_3 S_2 \sin(\alpha\beta - \alpha\gamma)) / (2 \Delta t_1 S_2 S_3 \sin(\alpha\gamma - \alpha\beta)) \\ & + 2 S_1 (\Delta t_3 S_2 \sin \alpha\beta - \Delta t_2 S_3 \sin \alpha\gamma) \end{aligned} \quad (4)$$

Произведя замену Δt_i , которой обозначается разность времен прихода сейсмической волны к двум сейсмодатчикам, один из которых опорный, на сумму расстояний R_i от опорного сейсмодатчика до очага землетрясения в паре с расстояниями до остальных сейсмодатчиков, после некоторых преобразований получим:

$$K = 2(t_0 + t_1) S_2 S_3 \sin(\alpha\gamma - \alpha\beta) + 2 S_1 ((t_0 + t_3) S_2 \sin \alpha\beta - (t_0 + t_2) S_3 \sin \alpha\gamma); \quad (5)$$

$$\begin{aligned} R = & \frac{S_1 S_2 S_3 (S_2 \sin \alpha\gamma - S_3 \sin \alpha\beta + S_1 (\alpha\beta - \alpha\gamma))}{K} * \frac{(V_1 - V_2)}{V_1 V_2} + \frac{V_1 V_2}{(V_1 - V_2)} * \\ & * \frac{S_1 ((t_0 + t_3)^2 S_2 \sin \alpha\beta - (t_0 + t_2)^2 S_3 \sin \alpha\gamma) + (t_0 + t_1)^2 S_3 S_2 \sin(\alpha\gamma - \alpha\beta)}{K}, \end{aligned} \quad (6)$$

где S_i – расстояния между опорным сейсмодатчиком и остальными сейсмодатчиками;
 $\alpha\beta, \alpha\gamma$ – угол образованный между первым и вторым, а также первым и третьим сейсмодатчиком, с вершиной в точке расположения опорного сейсмодатчика.

Так как нам известны разности времен прихода сейсмических волн ко всем сейсмодатчикам, то возможно найти расстояния и от очага землетрясения до остальных сейсмодатчиков:

$$R_1 = V_1 V_2 (t_0 + t_1) / (V_1 - V_2) - R; \quad (7)$$

$$R_2 = V_1 V_2 (t_0 + t_2) / (V_1 - V_2) - R;$$

$$R_3 = V_1 V_2 (t_0 + t_3) / (V_1 - V_2) - R.$$

Для проведения сравнительного анализа с работами [21, 22] необходимо определить координаты очага методом эллипсов в декартовых координатах. Так как расстояния от очага землетрясения до всех сейсмодатчиков определены, воспользуемся формулой, приведенной в работе [22]:

$$\begin{aligned} X = & \frac{R_2^2 Y_3 - Y_3 X_2^2 - Y_2^2 Y_3 + Y_2 X_3^2 + Y_3^2 Y_2 + R_1^2 Y_2 - R_3^2 Y_2 - R_1^2 Y_3}{2(Y_2 X_3 - Y_3 X_2)}; \\ Y = & \frac{R_2^2 X_3 - X_3 Y_2^2 - X_2^2 X_3 + X_2 Y_3^2 + X_3^2 X_2 + R_1^2 X_2 - R_3^2 X_2 - R_1^2 X_3}{2(X_2 Y_3 - X_3 Y_2)}; \end{aligned} \quad (8)$$

$$Z = \sqrt{R_1^2 - X^2 - Y^2}.$$

Для получения плотности распределения ошибки в определении очага землетрясения зададим область размерами 150 на 150 км, в которой будем менять взаимное расположение сейсмодатчиков. Примем за координаты очага землетрясения $X = 75$ км., $Y = 75$ км., $Z = 10$ км. На рис.1 и 2 приведены нормированные плотности распределения ошибки в определении гипоцентра землетрясения.

Для получения распределения производилось определение координат очага землетрясения с изменением координат сейсмодатчиков с шагом 18,75 км. Также были введены преднамеренные ошибки в определении времени по разности координат очагов землетрясений с ошибкой и без нее и была получена дисперсия.

На рис. 1 кривой 1 соответствует метод сфер, кривой 2 – метод эллипсоидов и кривой 3 – комбинированный метод сферы, эллипсоида и гиперboloида. При расчете производилось изменение ошибки в определении разности времен прихода сейсмических волн в интервале от - 0.5 до 0.5 с шагом 0.25 с.

Рис. 1. Плотность распределения ошибок в определении гипоцентра землетрясения тремя методами

Fig. 1. The density distribution of errors in determining the hypocenter of an earthquake by three methods

На рис. 2 кривой 1 соответствует изменение ошибки в определении разности времен прихода сейсмических волн в интервале от - 0.5 до 0.5 с шагом 0.25 с., кривой 2 – изменение ошибки в определении разности времен прихода сейсмических волн в интервале от - 1 до 1 с шагом 0.5 с., кривой 3 – изменение ошибки в определении разности времен прихода сейсмических волн в интервале от - 1.5 до 1.5 с шагом 0.75 с. и кривой 4 – изменение ошибки в определении разности времен прихода сейсмических волн в интервале от - 2 до 2 с шагом 1 с.

Рис. 2. Плотность распределения ошибок в определении гипоцентра землетрясения тремя методами с различными интервалами ошибок в определении разности времен прихода сейсмических волн

Fig. 2. The density of the distribution of errors in determining the hypocenter of an earthquake by three methods with different error intervals in determining the difference in the arrival times of seismic waves

На рис. 2а приведено распределение ошибок для метода сфер, на рис. 2б – распределение ошибок для комбинированного метода сферы, эллипсоида и гиперboloида и на рисунке 2в – распределение ошибок для метода эллипсоидов.

Обсуждение результатов. В результате выполненной работы предложен метод эллипсов, позволяющий определить координаты очага землетрясения, а также получены плотности распределения ошибок.

Ошибки в методах, использующих эллипсоид, больше чем у метода сфер, в связи с тем, что в первых двух методах используется четыре ошибки в определении разности времен, тогда как в методе сфер всего лишь три, а также с особенностью эллипсов, которая была отражена в

работе [22] – более точное определение глубины гипоцентра землетрясения, по сравнению с координатами эпицентра.

Вывод.

1. Получено выражение для определения координат очага землетрясения методом эллипсов, а также получены плотности распределения ошибок.
2. Все полученные зависимости имеют вид распределения ошибок близкий к распределению Коши.
3. Всплеск в районе нуля у всех распределений получен в результате расчетов координат очага землетрясения при отсутствии ошибок в определении разности времен.
4. В методе эллипсов по уровню 0,7 интервалы ошибок одинаковы с методом сфер.

Библиографический список:

1. Гитис В.Г., Ермаков Б.В. Основы пространственно-временного прогнозирования в геоинформатике / В.Г. Гитис, Б.В. Ермаков — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004.— 256 с.
2. Jing Z., Laurie G. B., MagalyK.. Mapping earthquake induced liquefaction surface effects from the 2011 Toho-ku earthquake using satellite imagery // 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016, pp. 2328 - 2331
3. Rui J., Shuanggen J. Ionosphericacousitc and rayleigh waves detected by GPS following the 2005 Mw=7.2 northern California earthquake // 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016, pp. 3956 – 3959
4. Aixia D., Xiaoqing W., Xiaoxiang Y., Shumin W. The loss assessment method of building earthquake damage using The Remote Sensing and building grid data // 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016, pp. 4255 - 4258
5. Wei Z., Huan-Feng Sh., Chun-Lin H., Wan-Sheng P. Building damage information investigation after earthquake using single post-event PolSAR image // 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016, pp. 7338 – 7341
6. Hao D., Xin X., Rong G., Chao S., Haigang S. Metric learning based collapsed building extraction from post-earthquake PolSAR imagery // 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016, pp. 4742 - 4745
7. Liu L. B., Liu M., Wang J. Q. Electromagnetic environment comprehension for radar detection of vital signs at China National Training Center for earthquake search & rescue // 2016 16th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR), 2016, pp. 1-4
8. Радоуцкий, В.Ю. Опасные природные процессы: учеб.пособие / В.Ю. Радоуцкий, Ю.В. Ветрова, Д.И. Васюткина; под ред. В.Ю. Радоуцкого. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. – 206 с.
9. Архангельский В.Т., Веденская И.А., Гайский В.Н. Руководство по производству и обработке наблюдений на сейсмических станциях СССР / Акад. наук СССР. Совет по сейсмологии. - Москва : Изд-во Акад. наук СССР, 1954
10. Добровольский И.П. Математическая теория подготовки и прогноза тектонического землетрясения. / И.П. Добровольский— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. —240 с.
11. Гуревич П.С. Психология чрезвычайных ситуаций учебное пособие/ П.С. Гуревич — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012.— 495 с.
12. Мкртычев О.В. Безопасность зданий и сооружений при сейсмических и аварийных воздействиях: монография/ О.В. Мкртычев — М.: МГСУ, 2010.— 152 с.
13. Асланов Т.Г., Тагиров Х.Ю., Асланов Г.К., Алимерденов В.Ш. Математическая модель расчета энергетического класса, интенсивности и магнитуды землетрясения в реальном масштабе времени // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. №2 (37), 2015 – Махачкала: ДГТУ, 2015. – С. 66-71
14. Асланов Т.Г. Разработка алгоритма определения координат очага землетрясения, с одновременным определением скоростей сейсмических волн // Научные труды молодых исследователей программы «Шаг в будущее». Том 8. «Профессионал». Москва. 2005. С. 32-34.
15. RahinulH., ShoaibH., AkterS., AsadullahilG., TahiaF. K. Earthquake monitoring and warning system // 2015 International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE), 2015, pp. 109 - 112
16. Alphonsa A., Ravi G. Earthquake early warning system by IOT using Wireless sensor networks // 2016 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET), 2016, pp. 1201 – 1205.
17. Асланов Т.Г., Алимерденов В.Ш. Определение структуры земли по статистическим данным времен прихода сейсмических волн произошедших землетрясений // Старт в будущее – 2013. Труды III научнотехнической конференции молодых ученых и специалистов. Санкт-Петербург.

18. Асланов Т.Г., Магомедов Х.Д., Мусаева У.А., Тагиров Х.Ю. Влияние пространственного расположения сейсмодатчиков на точность определения гипоцентра землетрясения. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;43 (4):73-84. DOI:10.21822/2073-6185-2016-43-4-73-84
19. Асланов Т.Г. Определение координат очага землетрясения с использованием комбинированного метода. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (2):118-125. DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-2-118-125
20. Асланов Г.К., Гаджиев М.М., Исмаилов Т.А., Магомедов Х.Д. О землетрясениях (прошлое и современность). – Махачкала, Информационно полиграфический центр ДГТУ. 2001.
21. Асланов Т.Г., Даниялов М.Г., Магомедов Х.Д., Асланов Г.К. Об одном методе определения очага землетрясения с одновременным определением скоростей сейсмических волн // Труды института геологии Дагестанского научного центра РАН, Материалы. Издательство ДНЦ РАН. Махачкала 2010. – С. 54-59.
22. Шахтарин Б.И., Асланов Г.К., Асланов Т.Г. К определению координат очага землетрясения с использованием фигур второго порядка – эллипса и гиперболы. Автоматизация. Современные технологии. 2018; 1: 53-59.
23. Асланов Т.Г. Определение координат очага землетрясения методом эллипсов // Свид. о гос. рег. прогр. ЭВМ № 2017617620 Рос. Федерация / заявитель и правообладатель ВГУЮ (РПА Минюста сии). - № 2017615712; заявл. 13.06.17; опубл. 11.07.17.
24. Асланов Г.К., Асланов Т.Г., Курбанмагомедов К.Д., Шахтарин Б.И. Исследование зависимости ошибок в определении координат очага землетрясения от методов расчета (сфер и гиперболюидов). Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44(4):87-98. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2017-44-4-87-98>

References:

1. Gitis V.G., Yermakov B.V. Osnovy prostranstvenno-vremennogo prognozirovaniya v geoinforma-tike / V.G. Gitis, B.V. Yermakov — M.: FIZMATLIT, 2004.— 256 c. [Gitis V.G., Ermakov B.V. The basics of spatio-temporal forecasting in geoinformatics / V.G. Gitis, B.V. Ermakov - M.: FIZMATLIT, 2004. 256 p. (In Russ.)]
2. Jing Z., Laurie G. B., MagalyK .. Mapping earthquake induced liquefaction surface effects from the 2011 Tohoku earthquake using satellite imagery // 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016, pp. 2328 - 2331
3. Rui J., Shuanggen J. Ionosphericacousitc and rayleigh waves detected by GPS following the 2005 Mw = 7.2 northern California earthquake // 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016, pp. 3956 - 3959
4. Aixia D., Xiaoqing W., Xiaoxiang Y., Shumin W. The loss assessment method of building earthquake damage using The Remote Sensing and building grid data // 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016 , pp. 4255 - 4258
5. Wei Z., Huan-Feng Sh., Chun-Lin H., Wan-Sheng P. Building damage information investigation after earthquake using single post-event PolSAR image // 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016, pp. 7338 - 7341
6. Hao D., Xin X., Rong G., Chao S., Haigang S. Metric learning based collapsed building extraction from post-earthquake PolSAR imagery // 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016, pp. 4742 - 4745
7. Liu L. B., Liu M., Wang J. Q. Electromagnetic environment comprehension for radar detection of vital signs at China National Training Center for earthquake search & rescue // 2016 16th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR), 2016, pp. 1-4
8. Radoutskiy, V.YU. Opasnyye prirodnyye protsessy: ucheb.posobiye / V.YU. Radoutskiy, YU.V. Vetrova, D.I. Vasyutkina; pod red. V.YU. Radoutskogo. – Belgorod: Izd-vo BGTU, 2013. – 206 s. [Radotsky, V.Yu. Hazardous natural processes: textbook / V.Yu. Radotsky, Yu.V. Vetrova D.I. Vasyutkina; under the editorship of V.Yu. Radotsky. - Belgorod: Publishing House of BSTU, 2013 . 206 p. (In Russ.)]
9. Arkhangel'skiy V.T., Vedenskaya I.A., Gayskiy V.N. Rukovodstvo po proizvodstvu i obrabotke nablyudeniy na seysmicheskikh stantsiyakh SSSR / Akad. nauk SSSR. Sovet po seysmologii. - Moskva : Izd-vo Akad. nauk SSSR, 1954 [Arkhangel'skiy V.T., Vedenskaya I.A., Gayskiy V.N. Guidelines for the production and processing of observations at seismic stations of the USSR / Akad. sciences of the USSR. Seismology Council. - Moscow: Acad. USSR Sciences, 1954 (In Russ.)]
10. Dobrovol'skiy I.P. Matematicheskaya teoriya podgotovki i prognoza tektonicheskogo zemletryase-niya. / I.P. Dobrovol'skiy— M.: FIZMATLIT, 2009. —240 s. [Dobrovolsky I.P. The mathematical theory of the preparation and prediction of tectonic earthquake. / I.P. Dobrovolsky — M.: FIZMATLIT, 2009. —240 p.
11. Gurevich P.S. Psikhologiya chrezvychaynykh situatsiy uchebnoye posobiye/ P.S., Gurevich — M.: YUNI-TI-DANA, 2012.— 495 c. [Gurevich P.S. Psychology of emergency situations textbook / P.S., Gurevich - M.: UNI-TI-DANA, 2012. 495 p. (In Russ.)]
12. Mkrtychev O.V. Bezopasnost' zdaniy i sooruzheniy pri seysmicheskikh i avariynnykh vozdeystvi-yakh: monografiya/ O.V. Mkrtychev — M.: MGSU, 2010.— 152 c. [Mkrtychev O.V. Safety of buildings and structures during seismic and emergency impacts: monograph / O.V. Mkrtychev M.: MGSU, 2010. 152 p. (In Russ.)]

13. Aslanov T.G., Tagirov KH.YU., Aslanov G.K., Alimerdenov V.SH. Matematicheskaya model' rascheta energeticheskogo klassa, intensivnosti i magnitudy zemletryaseniya v real'nom masshtabe vremeni // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. №2 (37), 2015 – Ma-khachkala: DGTU, 2015. – S. 66-71 [Aslanov T.G., Tagirov H.Yu., Aslanov G.K., Alimerdenov V.Sh. A mathematical model for calculating the energy class, intensity and magnitude of an earthquake in real time // Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical science. No. 2 (37), 2015 - Ma-Khachkala: DGTU, 2015. pp. 66-71(In Russ.)]
14. Aslanov T.G. Razrabotka algoritma opredeleniya koordinat ochaga zemletryaseniya, s odnoveremennym opredeleniyem skorostey seysmicheskikh voln // Nauchnyye trudy molodykh issledovateley programmy «Shag v budushcheye». Tom 8. «Professional». Moskva. 2005. – S. 32-34. [Aslanov T.G. Development of an algorithm for determining the coordinates of the earthquake source, with the simultaneous determination of the speeds of seismic waves // Scientific works of young researchers of the program "Step into the Future". Volume 8. "Professional." Moscow. 2005 pp. 32-34. (In Russ.)]
15. Rahinul H., Shoaib H., Akter S., Asadullahil G., Tahia F. K .. Earthquake monitoring and warning system // 2015 International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE), 2015, pp. 109 - 112
16. Alphonsa A., Ravi G. Earthquake early warning system by IOT using Wireless sensor networks // 2016 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET), 2016, pp. 1201 - 1205.
17. Aslanov T.G., Alimerdenov V.SH. Opredeleniye struktury zemli po statisticheskim dannym vremen prikhoda seysmicheskikh voln proizoshedshikh zemletryaseny // Start v budushcheye – 2013. Trudy III nauchnotekhnicheskoy konferentsii molodykh uchennykh i spetsialistov. Sankt-Peterburg. [Aslanov T.G., Alimerdenov V.Sh. Determination of the structure of the earth according to statistics of the times of arrival of seismic waves of earthquakes // Start to the Future - 2013. Proceedings of the III scientific and technical conference of young scientists and specialists. St. Petersburg. (In Russ.)]
18. Aslanov T.G., Magomedov KH.D., Musayeva U.A., Tagirov KH.YU. Vliyaniye prostranstvennogo raspolozheniya seysmodatchikov na tochnost' opredeleniya gipotsentra zemletryaseniya. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. 2016;43 (4):73-84. DOI:10.21822/2073- 6185-2016-43-4-73-84 [Aslanov T.G., Magomedov Kh.D., Musaeva U.A., Tagirov H.Yu. The influence of the spatial location of seismic sensors on the accuracy of determining the earthquake hypocenter. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical science. 2016; 43 (4): 73-84. DOI: 10.21822 / 2073-6185-2016-43-4-73-84(In Russ.)]
19. Aslanov T.G. Opredeleniye koordinat ochaga zemletryaseniya s ispol'zovaniyem kombinirovannogo metoda. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. 2017;44 (2):118- 125. DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-2-118-125 [Aslanov T.G. Determination of the coordinates of the earthquake source using the combined method. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical science. 2017; 44 (2): 118-125. DOI: 10.21822 / 2073-6185-2017-44-2-118-125(In Russ.)]
20. Aslanov G.K., Gadzhiev M.M., Ismailov T.A., Magomedov KH.D. O zemletryasenyakh (proshloye i so-vremennost'). – Makhachkala, Informatsionno poligraficheskiy tsentr DGTU. 2001. [Aslanov G.K., Gadzhiev M.M., Ismailov T.A., Magomedov Kh.D. On earthquakes (past and present). - Makhachkala, Information and printing center DGTU. 2001. (In Russ.)]
21. Aslanov T.G., Danialov M.G., Magomedov KH.D., Aslanov G.K. Ob odnom metode opredeleniya ochaga zemletryaseniya s odnoveremennym opredeleniyem skorostey seysmicheskikh voln // Trudy instituta geologii Dagestanskogo nauchnogo tsentra RAN, Materialy. Izdatel'stvo DNTS RAN. Makhachkala 2010. – S. 54-59. [Aslanov T.G., Danialov M.G., Magomedov H.D., Aslanov G.K. On a method for determining the source of an earthquake with simultaneous determination of the velocities of seismic waves // Transactions of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Materials. Publishing House of the DSC RAS. Makhachkala 2010 .pp 54-59. (In Russ.)]
22. Shakhtarin B.I., Aslanov G.K., Aslanov T.G. K opredeleniyu koordinat ochaga zemletryaseniya s ispol'zovaniyem figur vtorogo poryadka – ellipsa i giperboly. Avtomatizatsiya. Sovremennyye tekhnologii. 2018; 1: 53-59. [Shakhtarin B.I., Aslanov G.K., Aslanov T.G. To determine the coordinates of the earthquake source using second-order figures - an ellipse and a hyperbola. Automation. Modern technologies. 2018; 1: 53-59. (In Russ.)]
23. Aslanov T.G. Opredeleniye koordinat ochaga zemletryaseniya metodom ellipsov // Svid. o gos. reg. progr. EVM № 2017617620 Ros. Federatsiya / zayavitel' i pravoobladatel' VGUYU (RPA Minyusta Rossii). № 2017615712; zayavl. 13.06.17; opubl. 11.07.17. [Aslanov T.G. Determination of the coordinates of the earthquake source by the ellipse method // Svid. about state reg. prog. Computer No. 2017617620 Ros. Federation / applicant and copyright holder of Voronezh State University of Law (RPA of the Ministry of Justice of Russia). No. 2017615712; declared 06/13/17; publ. 07/11/17. (In Russ.)]
24. Aslanov G.K., Aslanov T.G., Kurbanmagomedov K.D., Shakhtarin B.I. Issledovaniye zavisimosti oshibok v opredelenii koordinat ochaga zemletryaseniya ot metodov rascheta (sfer i giperboloidov). Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. 2017;44(4):87-98. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2017-44-4-87-98> [Aslanov G.K., Aslanov T.G., Kurbanmagomedov K.D., Shakhtarin B.I. Investigation of the dependence of errors in determining the coordinates of the earthquake source on calculation methods (spheres and hyperboloids). Herald of the Daghestan State Technical University. Technical science. 2017; 44 (4): 87-98. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2017-44-4-87-98> (In Russ.)]

Сведения об авторах:

Асланов Тагирбек Гайдарбекович – кандидат технических наук, докторант, заведующий кафедрой управления и информатики в технических системах и вычислительной техники.

Мусаева Ума Алиевна – кандидат технических наук, доцент, кафедра управления и информатики в технических системах и вычислительной техники.

Information about the authors.

Tagirbek G.Aslanov – Cand. Sci. (Technical), Doctoral cand., Department of Management and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering.

Uma A.Musaeva - Cand. Sci. (Technical), Prof., Department of Management and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 14.04.2019.

Принята в печать 22.05.2019.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 14.04.2019.

Accepted for publication 22.05.2019.