

Для цитирования: 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

For citation: Aslanov T. G., Magomedov Kh. D., Musaeva U. A., Tagirov H. Yu. Influence of the spatial arrangement of seismic detectors on the accuracy of earthquake hypocentre determination. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;43 (4):73-84. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-43-4-73-84

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 550.34

DOI:10.21822/2073-6185-2016-43-4-73-84

ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ СЕЙСМОДАТЧИКОВ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИПОЦЕНТРА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Асланов Т.Г.¹, Магомедов Х.Д.², Мусаева У.А.³, Тагиров Х.Ю.⁴

¹Северо-Кавказский институт (филиал)

«Всероссийский государственный университет юстиции»,

¹367008, г. Махачкала, ул. Агасиева, 87,

²Дагестанский филиал геофизической службы РАН.

²367008, г. Махачкала, ул. Белинского, 16,

^{3,4}Дагестанский государственный технический университет,

^{3,4}367015, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70

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

³e-mail: uma9@list.ru, ⁴e-mail: halipa92@yandex.ru

Резюме: Цель. Определить координаты очага землетрясения с минимально возможной ошибкой за счет оптимального выбора сейсмодатчиков. **Метод.** Для нахождения ошибок в определении гипоцентра землетрясения в зависимости от взаимного расположения трех сейсмодатчиков используются данные скоростей сейсмических волн, разности времен прихода сейсмических волн на сейсмодатчик и заданная ошибка в определении разности времен. По данным с ошибкой и без нее определяются два гипоцентра, разности которых и дают информацию об ошибке определения гипоцентра. Проведен анализ влияния взаимного расположения сейсмодатчиков и очага землетрясения на точность определения координат очага. **Результат.** Установлено, что для повышения точности определения координат эпицентра и гипоцентра землетрясения желательно использовать разные комбинации сейсмодатчиков. Даны рекомендации по их выбору с целью уменьшения ошибки в определении координат очага землетрясения. Получены зависимости ошибки в определении координат гипоцентра от взаимного расположения сейсмодатчиков и очага землетрясения в пространстве, при наличии ошибок в определении расстояния до гипоцентра землетрясения, как в сторону увеличения расстояния, так и в сторону уменьшения для всех сейсмодатчиков в различных вариациях. Для определения зависимости ошибки в определении координат очага от взаимного расположения трех сейсмодатчиков произведено перемещение третьего сейсмодатчика на горизонтальной плоскости по окружности с центром в начале координат. **Вывод.** При выборе сейсмодатчиков необходимо чтобы один из них был перпендикулярным центру отрезка, образованного между двумя другими сейсмодатчиками. Вероятность разнонаправленной ошибки измерения времени прихода волн тем выше, чем ближе расположены сейсмодатчики друг к другу и обусловлена тем, что сейсмические волны проходят близкие по расположению трассы.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмодатчик, сфера, ошибка, уравнение

TECHICAL SCIENCE
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

INFLUENCE OF THE SPATIAL ARRANGEMENT OF SEISMIC DETECTORS ON
THE ACCURACY OF EARTHQUAKE HYPOCENTRE DETERMINATION

Tagirbek G. Aslanov¹, Khaskil J. Magomedov², Uma A. Musayeva³, Khalipa Y. Tagirov⁴.

¹Northern Caucasian Institute (branch) All-Russian State University of Justice,

¹87 Agasiyeva Str, Makhachkala 367008, Russia,

²Dagestan branch of the geophysical service, Russian Academy of Sciences,

²16 Belinsky Str., Makhachkala 367008, Russia,

^{3,4}Dagestan State Technical University,

^{3,4}70 I. Shamil Ave., Makhachkala 367015, Russia,

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

³e-mail: uma9@list.ru, ⁴e-mail: halipa92@yandex.ru

Abstract: Objectives. To determine the coordinates of the seismic focus of an earthquake with a minimum margin of error with the use of an optimal selection of seismic sensors. **Method.** Seismic wave velocity data, relying on the time discrepancies between the registering of seismic waves on the seismic sensor and the defined error in determining the time difference, were used to identify errors in the location of an earthquake's hypocenter depending on the respective positions of three seismic sensors. Discrepancies between data containing an error and those without it used to determine two hypocenters provide information about the hypocenter locating error. An analysis of the influence of the respective arrangements of the seismic sensors and the earthquake epicentre on the accuracy of determination of epicentre coordinates was carried out. **Results.** It is established that, in order to improve the accuracy of epicenter and hypocenter earthquake coordinate determination, it is preferable to use different combinations of seismic sensors. The present recommendations are based on the desire to reduce errors in determining the earthquake source coordinates. Due to earthquake epicenter distance determination errors found in different seismic sensors both with increasing and decreasing distance, the hypocenter coordinate determining error has been found to depend on the respective arrangement of seismic sensors and on the earthquake source's geographical location. In order to determine the dependence of the source coordinate determining error on the relative position of three seismic sensors, the third seismic sensor was displaced on a horizontal plane at the location centered at the coordinate of the origin. **Conclusion.** When selecting seismic sensors it is essential that one of them be located perpendicular to the center of the segment formed by the other two seismic sensors. The probability of a multidirectional error of measurement at the moment of arrival of seismic wave is higher the closer the seismic sensors are to one another; this is due to the fact that seismic waves pass close by the trajectory layout.

Keywords: earthquake, seismic sensor, scope, error, equation

Введение. В настоящее время разработаны программы [1, 2, 3, 4], позволяющие по магнитуде землетрясения, глубине его очага, плотности населения в районе землетрясения, типам застроек [5, 6, 7], времени суток и т.д. оценить людские потери [8], что способствует оперативному решению вопроса о количестве привлекаемых к спасательным работам людских, материальных и технических ресурсов. Однако оценка потерь иногда не соответствуют действительности, в основном, из-за неверного определения глубины очага и эпицентра землетрясения [9-15].

Определение координат очага землетрясения чаще всего производится по разности времен пробега поперечной и продольной сейсмических волн на разнесенные в пространстве сейсмодатчики [16, 17]. При этом основную ошибку в определении координат очага землетрясения вносит неверный выбор сейсмодатчиков [15, 18, 19], а также разная структура земли на пути прохождения сейсмических волн [20-22].

Постановка задачи. Для нахождения ошибок в определении гипоцентра землетрясения в зависимости от взаимного расположения трех сейсмодатчиков используются данные скоростей сейсмических волн, разности времен прихода сейсмических волн на сейсмодатчик и заданная ошибка в определении разности времени. По данным с ошибкой и без нее определяются два гипоцентра, разности которых и дают информацию об ошибке определения гипоцентра. С учетом этого в статье приводится метод, позволяющий определить координаты очага землетрясения с минимально возможной ошибкой за счет оптимального выбора сейсмодатчиков.

Методы исследования. Рассмотрим причины возникновения ошибок в определении координат очага землетрясения в случае, когда два сейсмодатчика и очаг расположены на вертикальной плоскости. Пусть сейсмодатчики 1 и 2 (рис. 1) расположены в точках S_1 и S_2 на удалениях R_1 и R_2 от истинного очага землетрясения $O_{и}$. O_p – расчетные координаты очага землетрясения. Δ_1 и Δ_2 – ошибки в определении удалений сейсмодатчиков от очага землетрясения.

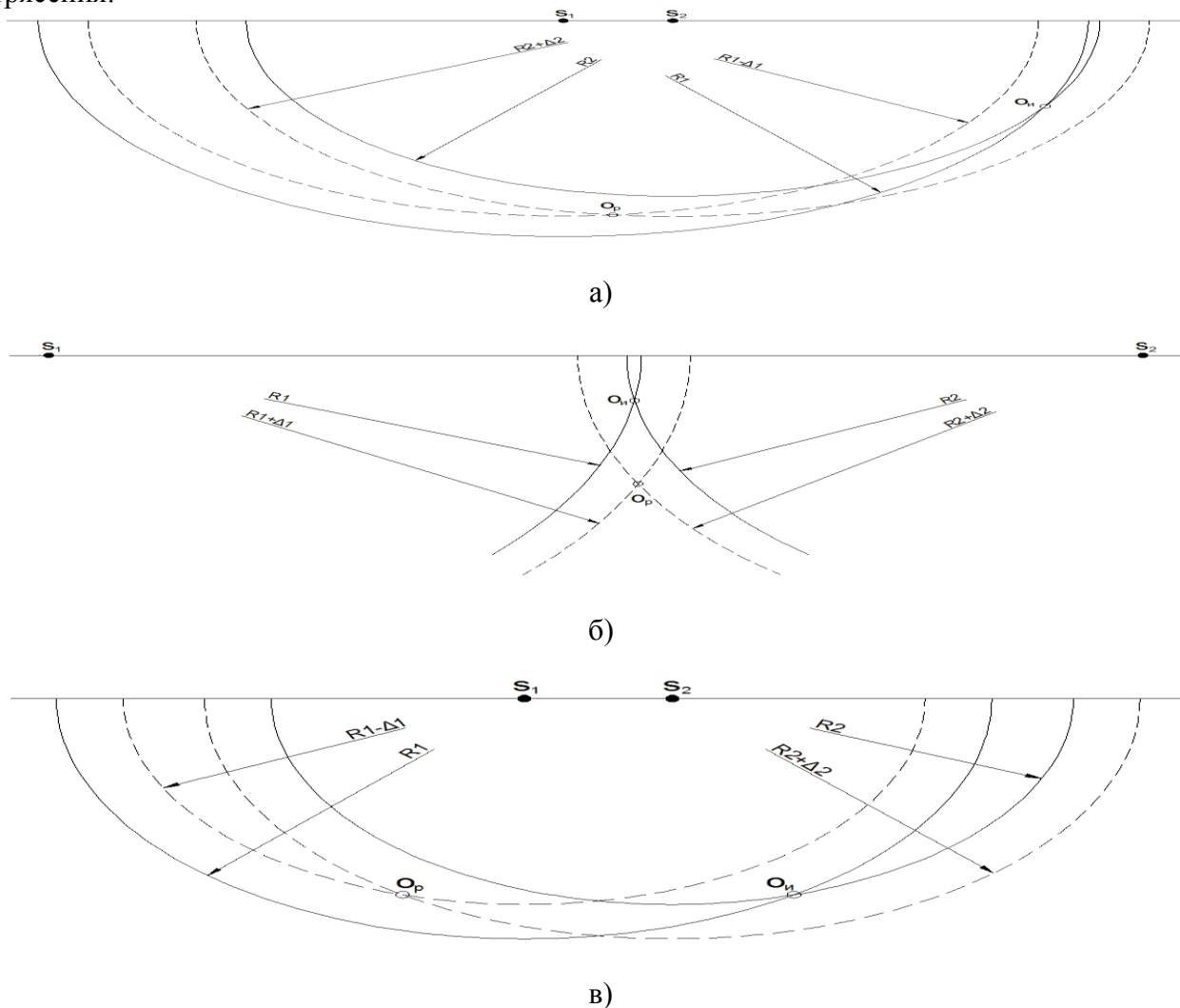


Рис.1. Взаимное расположение сейсмодатчиков и очага землетрясения на плоскости
Fig.1. Mutual arrangement of seismic sensors and earthquake focus in the plane

Анализ рис. 1 показывает, что, когда сейсмодатчики расположены по одну сторону от очага землетрясения (рис. 1а), возникает наибольшая ошибка в определении гипоцентра.

На рис. 1б приведен случай, когда сейсмодатчики расположены по разные стороны от очага землетрясения и значительно удалены друг от друга. В таком случае возникает наибольшая ошибка в определении глубины очага. На рис. 1в приведен случай, когда сейсмодатчики мало удалены друг от друга и от эпицентра, что приводит к возникновению значительной ошибки в определении координат эпицентра землетрясения.

Исходя из изложенного, для повышения точности определения координат очага землетрясения необходимо при расчете глубины очага землетрясения использовать одну комбинацию сейсмодатчиков, а для эпицентра – другую комбинацию.

Для удобства расчетов сейсмодатчик S_1 расположим в начале координат и примем его за опорный. Тогда по теореме Пифагора:

$$\begin{cases} x_0^2 + z_0^2 = R_1^2; \\ (x_2 - x_0)^2 + z_0^2 = R_2^2. \end{cases}$$

где, R_i – расстояние от i -го сейсмодатчика до очага землетрясения, вычисляется по формуле [23];

x_2 – координаты на горизонтальной плоскости второго сейсмодатчика;

V_1, V_2 – соответственно скорости продольной, поперечных волн;

t_i – разность времен прихода продольной и поперечной волн на i -ый сейсмодатчик.

После подстановки z_0 из первого уравнения системы во второе получим

$$\begin{cases} z_0^2 = R_1^2 - x_0^2; \\ x_0 = \frac{x_2^2 + R_1^2 - R_2^2}{2x_2}. \end{cases} \quad (1)$$

Пусть ошибки в показаниях сейсмодатчиков приводят к увеличению расстояния до очага землетрясения (рис. 1б)

$$\begin{cases} z_0^{*2} = R_1^{*2} - x_0^{*2}; \\ x_0^* = \frac{x_2^2 + R_1^{*2} - R_2^{*2}}{2x_2}. \end{cases} \quad (2)$$

где, $R_i^* = R_i + \Delta_i$; x_0^* и z_0^* – вычисленные с ошибкой координаты землетрясения.

Вычтя из первого уравнения системы (1) первое уравнение системы (2) и подставив в них вторые уравнения систем (1) и (2), получим

$$\Delta z_0 = \left| \sqrt{R_1^2 - \left(\frac{x_2^2 + R_1^2 - R_2^2}{2x_2}\right)^2} - \sqrt{R_1^{*2} - \left(\frac{x_2^2 + R_1^{*2} - R_2^{*2}}{2x_2}\right)^2} \right|. \quad (3)$$

Соответственно, вычтя из второго уравнения системы (1) второе уравнение системы (2), получим

$$\Delta x_0 = \left| \frac{2R_2\Delta_2 - 2R_1\Delta_1 + \Delta_2^2 - \Delta_1^2}{2x_2} \right|. \quad (4)$$

Таким образом, получены математические соотношения, позволяющие вычислять точность определения координат очага землетрясения, при расположении двух сейсмодатчиков и очага землетрясения на вертикальной плоскости, в зависимости от перемещения одного из сейсмодатчиков по оси x .

На рис. 2 приведены графические зависимости, полученные моделированием в среде MatLab уравнений (3) и (4).

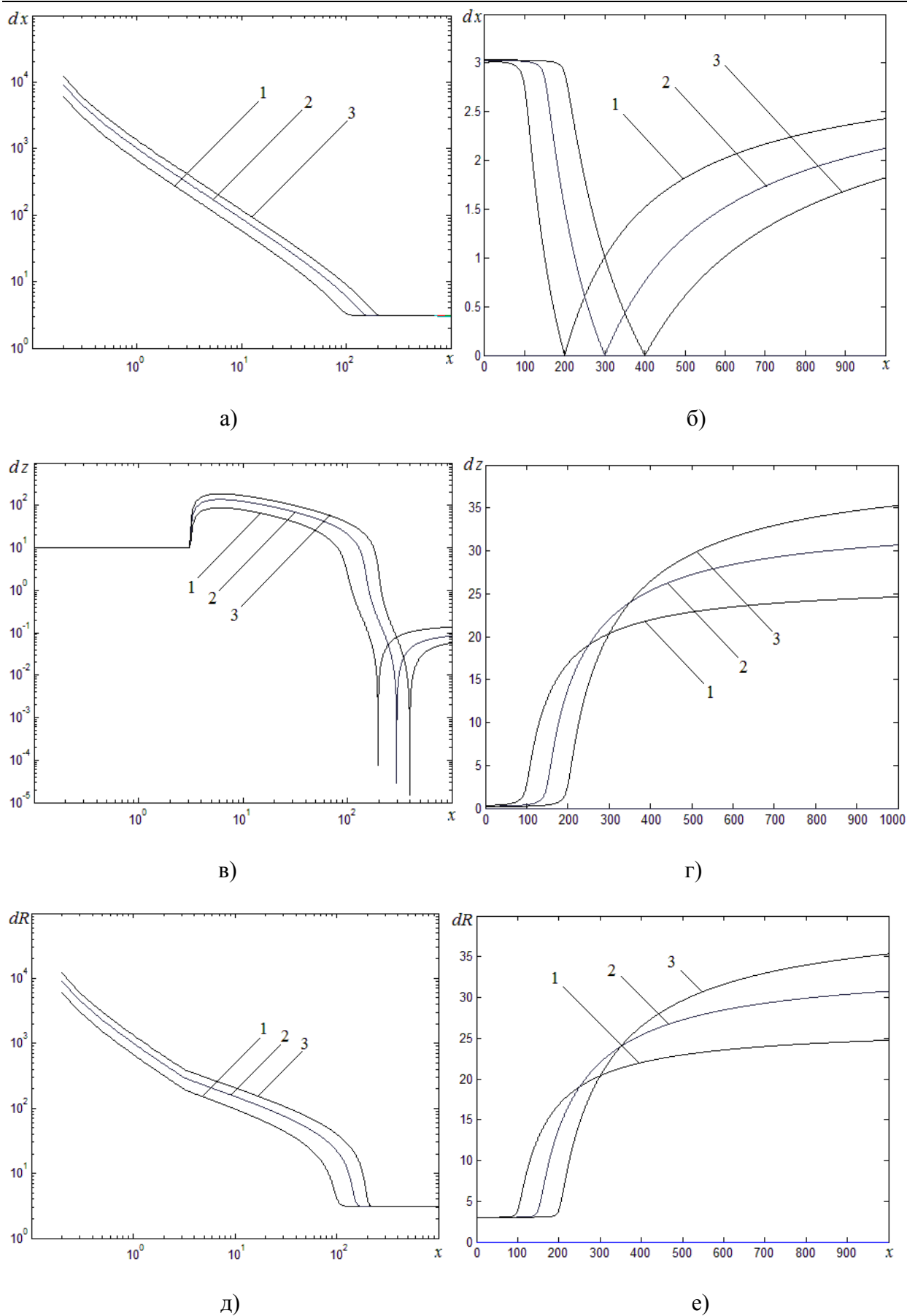


Рис. 2. Ошибки в определении координат очага землетрясения в плоскости
Fig. 2. Errors in determining the coordinates of the earthquake focus in the plane

На рис. 2 (а, в, д) приведены случаи, когда знаки ошибок измерений сейсмодатчиков противоположны, а на рис.2 (б, г, е) соответствуют ошибки, направленные в сторону увеличения расстояния от сейсмодатчиков до очага землетрясения.

При моделировании ошибка измерения разности времен пробега сейсмических волн сейсмодатчиками была принята равной 0,5 с. Кривые 1, 2 и 3 соответствуют удалениям эпицентра землетрясения от опорного сейсмодатчика на расстоянии 100, 150 и 200 км, соответственно. При этом глубина очага землетрясения принята равной 10 км.

Рассмотрим причины возникновения ошибок в определении координат очага землетрясения с помощью трех сейсмодатчиков. Геометрическим местом положения очага по данным двух сейсмодатчиков будет окружность, полученная пересечением двух сфер с радиусами, равными расстоянию от очага землетрясения до сейсмодатчиков. Если сейсмодатчики произвольно перемещать относительно очага землетрясения по прямой, проходящей через точки расположения сейсмодатчиков, то радиус и положение окружности на этой прямой будут оставаться неизменными.

Ранее нами для удобства рассматривался случай расположения двух сейсмодатчиков и очага землетрясения на вертикальной плоскости.

Полученные выше выводы также справедливы при любом расположении двух сейсмодатчиков и очага землетрясения. В дальнейшем примем центр окружности, полученный при пересечении двух сфер, за начало трехмерной прямоугольной системы координат.

Тогда, в соответствии с пространственной теоремой Пифагора, можно составить систему уравнений:

$$\begin{cases} x_0^2 + z_0^2 = R_1^2; \\ (x_2 - x_0)^2 + y_2^2 + z_0^2 = R_2^2. \end{cases} \quad (5)$$

После подстановки z_0 из первого уравнения системы (5) во второе получим:

$$\begin{cases} z_0^2 = R_1^2 - x_0^2; \\ x_0 = \frac{x_2^2 + y_2^2 + R_1^2 - R_2^2}{2x_2}. \end{cases}$$

Выразим декартовы координаты x_2 и y_2 в полярных с началом системы координат в центре окружности через азимут α и полярный радиус R_3 . Азимут α это угол, на который нужно повернуть полярный радиус в плоскости XY по часовой стрелке. Угол α равный нулю, соответствует перпендикуляру, проходящему через окружность в ее центре.

$$\begin{cases} z_0^2 = R_1^2 - x_0^2; \\ x_0 = \frac{R_3^2 + R_1^2 - R_2^2}{2R_3 \cos \alpha}. \end{cases}$$

Как и в случае решения задачи на плоскости, предположим, что определение расстояния от очага землетрясения до сейсмодатчика производится с ошибкой. Тогда получим математические соотношения, определяющие точность нахождения координат очага землетрясения в пространстве

$$\begin{cases} \Delta x = \left| \frac{2R_2 \Delta_2 - 2R_1 \Delta_1 + \Delta_2^2 - \Delta_1^2}{2R_3 \cos \alpha} \right|; \\ \Delta z = \left| \sqrt{R_1^2 - \left(\frac{R_3^2 + R_1^2 - R_2^2}{2R_3 \cos \alpha} \right)^2} - \sqrt{R_1^{*2} - \left(\frac{R_3^2 + R_1^{*2} - R_2^{*2}}{2R_3 \cos \alpha} \right)^2} \right|. \end{cases} \quad (6)$$

На рис. 3 приведены зависимости, полученные в результате моделирования в среде MatLab системы уравнений (6).

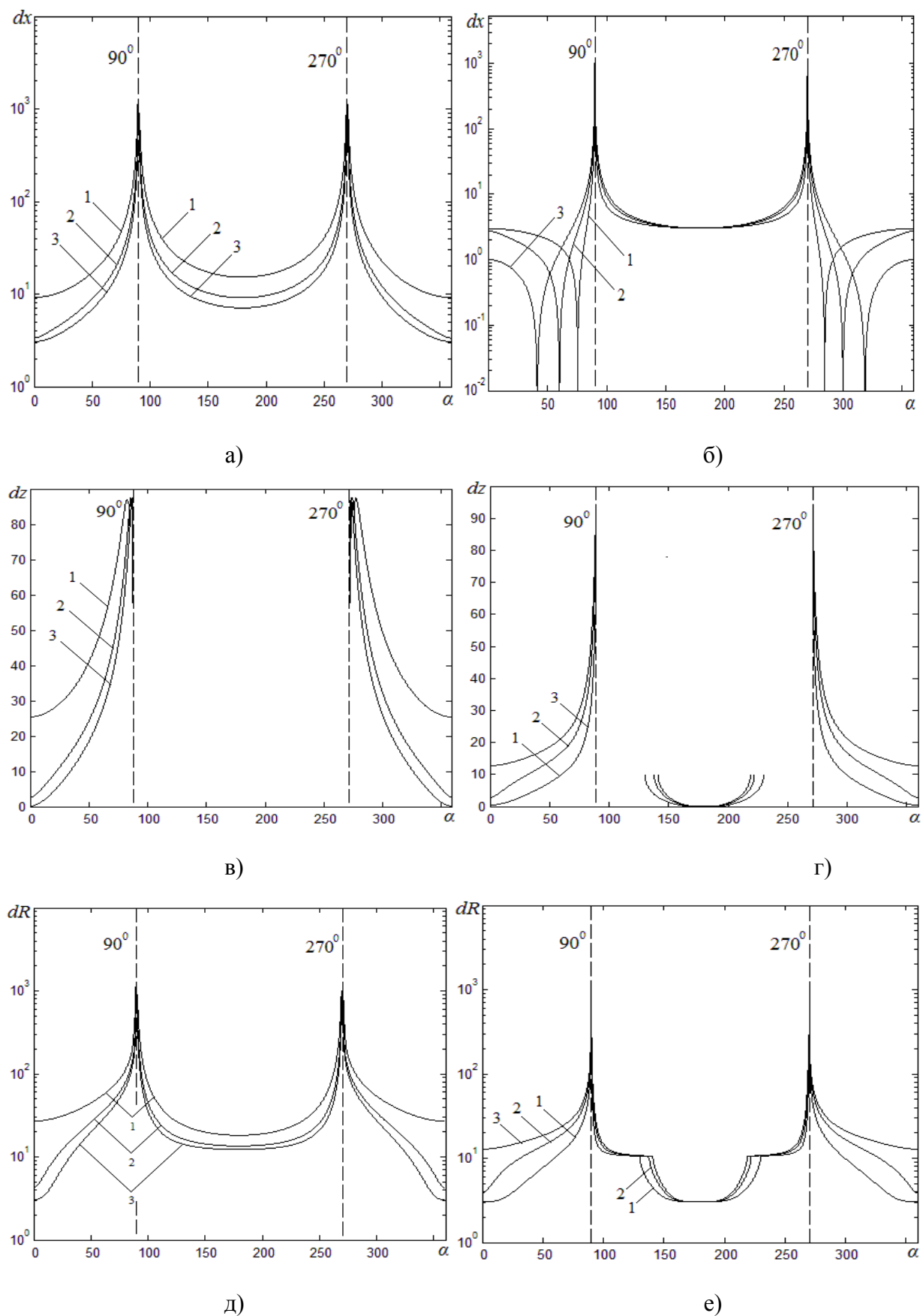


Рис. 3. Ошибки в определении координат очага землетрясения
Fig. 3. Errors in determining the coordinates of the source of the earthquake

Рисункам 3 (а, в, д) соответствует случай, когда ошибки вычисления окружности, полученной по данным двух сейсмодатчиков и третьего сейсмодатчика противоположны, а рисункам 3 (б, г, е) – случай, когда ошибки направлены в сторону увеличения расстояния от сейсмодатчика до очага землетрясения.

Ошибка измерения времени была принята равной 0,5 с, кривые 1, 2 и 3 соответствуют случаям отдаленности эпицентра землетрясения от опорного сейсмодатчика на 50, 100, 150 км соответственно при глубине очага землетрясения 10 км.

Обсуждение результатов. В результате выполненной работы предложен способ и алгоритм для уточнения координат очага землетрясения выбора сейсмодатчиков с целью повышения точности определения глубины очага и эпицентра землетрясения.

Применение методики на практике позволит повысить точность определения координат очага землетрясения, что даст возможность оперативно решать вопрос о количестве привлекаемых к спасательным работам людских, материальных и технических ресурсов.

Следует также отметить, что эта задача решается методами комбинаторики, что может потребовать больших временных затрат.

В связи с этим следует автоматизировать процесс выбора сейсмодатчиков для нахождения координат очага землетрясения.

Вывод. По результатам проведенного исследования можно сформулировать следующие выводы и комментарии:

1. По рисункам 2в, 3д и 3е часть графика отсутствует в связи с его комплексным значением, что обусловлено отсутствием пересечения окружностей (или окружности и сферы).

2. Целесообразно выбирать один из сейсмодатчиков вблизи эпицентра землетрясения, либо чтобы угол между двумя сейсмодатчиками и очагом землетрясения был близким к прямому, в последнем случае, величина ошибки равна корню квадратному из суммы квадратов приращений ошибок в определении расстояний от сейсмодатчиков до очага землетрясения.

3. При выборе сейсмодатчиков необходимо, чтобы один из них был перпендикулярным центру отрезка, образованного между двумя другими сейсмодатчиками.

4. Вероятность разнонаправленной ошибки измерения времени прихода волн тем выше, чем ближе расположены сейсмодатчики друг к другу и обусловлена тем, что сейсмические волны проходят близко по расположению трассы.

Библиографический список:

1. Шахриманьян М.А., Нигметов Г.М., Сосунов И.В. Математическое моделирование как способ поддержки принятия решений в случае возникновения чрезвычайных ситуаций // Каталог «Пожарная безопасность» - 2003. – С. 240-241.

2. Гитис В.Г., Ермаков Б.В. Основы пространственно-временного прогнозирования в геоинформатике / В.Г. Гитис, Б.В. Ермаков — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004.— 256 с.

3. Jing Z., Laurie G. B., Magaly K.. 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

4. Rui J., Shuanggen J. Ionospheric acoustic 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

5. 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

6. 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
7. 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
8. 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
9. 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.
10. 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
11. Добровольский И.П. Математическая теория подготовки и прогноза тектонического землетрясения. / И.П. Добровольский— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. —240 с.
12. Гуревич П.С. Психология чрезвычайных ситуаций учебное пособие/ П.С. Гуревич — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012.— 495 с.
13. Мкртычев О.В. Безопасность зданий и сооружений при сейсмических и аварийных воздействиях: монография/ О.В. Мкртычев — М.: МГСУ, 2010.— 152 с.
14. 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
15. 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.
16. 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
17. 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
18. Асланов Т.Г., Алимерденов В.Ш. Определение структуры земли по статистическим данным времен прихода сейсмических волн произошедших землетрясений // Старт в будущее – 2013. Труды III научно-технической конференции молодых ученых и специалистов. Санкт-Петербург.
19. Асланов Г.К., Гаджиев М.М., Исмаилов Т.А., Магомедов Х.Д. О землетрясениях (прошлое и современность). – Махачкала, Информационно полиграфический центр ДГТУ. 2001.
20. Быстрицкая Ю.В. Соотношение и сопоставление макросейсмических и инструментальных данных (дагестанские землетрясения). Сборник «Сейсмичность и гидрогеогазохимия территории Дагестана. Вып. 2 (17).- Махачкала 1978.
21. Асланов Г.К., Гаджиев М.М., Исмаилов Т.А., Магомедов Х.Д. О землетрясениях. (Прошлое, современность, прогноз). – Махачкала, ИПЦ ДГТУ, 2001. - 98 стр.
22. Методы решения прямых и обратных задач сейсмологии, электромагнетизма и экспериментальные исследования в проблемах изучения геодинамических процессов в коре и верхней мантии Земли / [А.С. Алексеев и др.] ; отв. ред. Б. Г. Михайленко, М. И. Эпов ;

Рос. акад. наук, Сиб. отделение, Институт вычислительной математики и математической геофизики [и др.]. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. — 310 с.

23. 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.

References:

1. Shakhrimanyan M.A., Nigmatov G.M., Sosunov I.V. Matematicheskoye modelirovanie kak sposob podderzhki prinyatiya resheniy v sluchaye vozniknoveniya chrezvychaynykh situatsiy. Katalog "Pozharnaya bezopasnost". 2003. 240-241. [Shakhrimanyan M.A., Nigmatov G.M., Sosunov I.V. Mathematical modeling as a way of decision support in case of emergencies. Catalogue "Fire Safety". 2003. 240-241. (In Russ.)]

2. Gitis V.G., Ermakov B.V. Osnovy prostranstvenno-vremennogo prognozirovaniya v geoinformatike. M.: FIZMATLIT, 2004. 256 s. [Gitis V.G., Ermakov B.V. Fundamentals of space-time forecasting in geoinformatics. Moscow: Fizmatlit; 2004. 256 p. (In Russ.)]

3. Jing Z., Laurie G. B., Magaly K. Mapping earthquake induced liquefaction surface effects from the 2011 Tohoku earthquake using satellite imagery. 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). 2016. 2328-2331.

4. Rui J., Shuanggen J. Ionospheric acousitic 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. 3956-3959.

5. 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 Geo-science and Remote Sensing Symposium (IGARSS). 2016. 4255-4258.

6. 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. 7338-7341.

7. 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. 4742-4745.

8. 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). 2016.1-4.

9. Radoutskiy V.Yu. Vetrova Yu.V., Vasyutkina D.I. Opasnyye prirodnyye protsessy: ucheb. posobie. Pod red. V.Yu. Radoutskogo. Belgorod: Izd-vo BGTU; 2013. 206 s. [Radoutskiy V.Yu. Vetrova Yu.V., Vasyutkina D.I. Dangerous natural processes: study guide. In: V.Yu. Radoutsky (Ed.).Belgorod: BSTU Publ.; 2013. 206 p. (In Russ.)]

10. Arkhangelskiy 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. [Arkhangelskiy V.T., Vedenskaya I.A., Gayskiy V.N. Guidelines for the production and processing of observations at seismic stations of the USSR. Academy of Sciences of the USSR. Council on Seismology. Moscow: Acad. of Sciences of the USSR Publ; 1954. (In Russ.)]

11. Dobrovolskiy I.P. Matematicheskaya teoriya podgotovki i prognoza tektonicheskogo zemletryaseniya. M.: FIZMATLIT; 2009. 240 s. [Dobrovolskiy I.P. The mathematical theory of training and tectonic earthquake prediction. Moscow: Fizmatlit; 2009. 240 p. (In Russ.)]

12. Gurevich P.S. Psikhologiya chrezvychaynykh situatsiy: uchebnoye posobie. M.: YuNITI-DANA; 2012. 495 s. [Gurevich P.S. Psychology of emergencies: Tutorial. Moscow: Yuniti-Dana; 2012. 495 p. (In Russ.)]

13. Mkrtychev O.V. Bezopasnost zdaniy i sooruzheniy pri seysmicheskikh i avariynykh vozdeystviyakh: monografiya. M.: MGSU; 2010. 152 s. [Mkrtychev O.V. Safety of buildings and structures under seismic and emergency actions: Monograph. Moscow: MSUCE; 2010. 152 p. (In Russ.)]

14. Aslanov T.G., Tagirov Kh.Yu., Aslanov G.K., Alimerdenov V.Sh. Matematicheskaya model rascheta energeticheskogo klassa, intensivnosti i magnitudy zemletryaseniya v realnom masshtabe vremeni. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. Makhachkala: DGTU; 2015;2(37):66-71. [Aslanov T.G., Tagirov Kh.Yu., Aslanov G.K., Alimerdenov V.Sh. A mathematical model for calculating energy class, intensity and magnitude of the earthquake in real time. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. Makhachkala: DSTU; 2015;2(37):66-71. (In Russ.)]

15. Aslanov T.G. Razrabotka algoritma opredeleniya koordinat ochaga zemletryaseniya, s odnovremennym opredeleniem skorostey seysmicheskikh voln. Nauchnyye trudy molodykh issledovateley programmy "Shag v budushcheye". Tom 8. "Professional". Moskva; 2005. 32-34. [Aslanov T.G. Development of the algorithm for determining the coordinates of earthquake with simultaneous determination of seismic velocities. Proceedings of Young Researchers Program "Step into the Future". Part 8. "Professional". Moscow; 2005. 32-34. (In Russ.)]

16. 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, 109-112.

17. 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. 1201-1205.

18. Aslanov T.G., Alimerdenov V.Sh. Opredelenie struktury zemli po statisticheskim dannym vremen prikhoda seysmicheskikh voln proizoshedshikh zemletryaseniya. Start v budushchee – 2013. Trudy III nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh uchennykh i spetsialistov. Sankt-Peterburg. [Aslanov T.G., Alimerdenov V.Sh. Determining the structure of the Earth according to the statistics of arrival times of seismic waves of occurred earthquakes. Start the future – 2013. III Proceedings of the Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Specialists. St. Petersburg. (In Russ.)]

19. Aslanov G.K., Gadzhiev M.M., Ismailov T.A., Magomedov Kh.D. O zemletryasenyakh (proshloye i sovremennost). Makhachkala: Informatsionno poligraficheskiy tsentr DGTU; 2001. [Aslanov G.K., Gadzhiev M.M., Ismailov T.A., Magomedov Kh.D. About earthquakes (past and present). Makhachkala: Dagestan State Technical University Informational Publishing Center; 2001. (In Russ.)]

20. Bystritskaya Yu.V. Sootnoshenie i sopostavlenie makroseysmicheskikh i instrumentalnykh dannykh (dagestanskije zemletryaseniya). Sbornik "Seysmichnost i gidrogeogazokhimiya territorii Dagestana". Makhachkala; 1978;2(17). [Bystritskaya Yu.V. Correlation and comparison of macroseismic and instrumental data (Dagestan earthquake). Seismicity and gidrogeogazokhimiya Dagestan. Makhachkala; 1978;2(17). (In Russ.)]

21. Aslanov G.K., Gadzhiev M.M., Ismailov T.A., Magomedov Kh.D. O zemletryasenyakh. (Proshloye, sovremennost, prognoz). Makhachkala: IPTs DGTU; 2001. 98 p. [Aslanov G.K., Gadzhiev M.M., Ismailov T.A., Magomedov Kh.D. About earthquakes. (Past, present, forecast). Makhachkala: Dagestan State Technical University CPI; 2001. 98 p. (In Russ.)]

22. Alekseev, A.S. i dr. Metody resheniya pryamykh i obratnykh zadach seysmologii, elektromagnetizma i eksperimentalnyye issledovaniya v problemakh izucheniya geodinamicheskikh protsessov v kore i verkhney mantii Zemli. Otv. red. B. G. Mikhaylenko, M. I. Epov; Ros. akad. nauk, Sib. otdelenie, Institut vychislitel'noy matematiki i matematicheskoy geofiziki [i dr.]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN; 2010. 310 s. [Alekseev, A.S. et al. Methods for solving the direct and inverse problems of seismology, electromagnetism and experimental research in the study of the problems of geodynamic processes in the crust and upper mantle of the Earth. In: B.G. Mikhailen-

ko, M.I. Epov (Eds.); Ros. Acad. Sciences, Sib. Branch, Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics et al. Novosibirsk: Publishing House of the SB RA; 2010. 310 p. (In Russ.)]

23. Aslanov T.G., Daniyalov M.G., Magomedov Kh.D., Aslanov G.K. Ob odnom metode opredeleniya ochaga zemletryaseniya s odnovremennym opredeleniem skorostey seismicheskikh voln. Trudy instituta geologii Dagestanskogo nauchnogo tsentra RAN, Materialy. Makhachkala: Izdatelstvo DNTs RAN; 2010. 54-59. [Aslanov T.G., Daniyalov M.G., Magomedov Kh.D., Aslanov G.K. About the method of seismic center determination with simultaneous understanding of speeds of seismic waves. Proceedings of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Makhachkala: DSCRASPubl.; 2010. 54-59. (In Russ.)]

Сведения об авторах.

Асланов Тагирбек Гайдарбекович – кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе, Северо-Кавказский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Всероссийский государственный университет юстиции».

Магомедов Хаскил Джарулаевич - заместитель директора Дагестанского филиала Геофизической службы РАН.

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

Тагиров Халипа Юсупович – аспирант.

Information about the authors.

Tagirbek G. Aslanov – Cand. Sc. (Technical), Deputy Director for Research, North Caucasus Institute (branch «All-Russian State University of Justice»).

Khaskil J. Magomedov - Deputy Director, Dagestan Branch of the Geophysical Service, Russian Academy of Sciences.

Uma A. Musaeva – Cand. Sc.(Technical), Assoc.Prof., Department of management and informatici tehnicheskikh systems and computing.

Khalipa Y.Tagirov – Postgraduate student.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 12.10.2016.

Принята в печать 20.12.2016.

Conflict of interest

Received 12.10.2016.

Accepted for publication 20.12.2016.