

УДК 550.34

ОЦЕНКА РАСХОЖДЕНИЙ В ОПРЕДЕЛЕНИИ МАГНИТУД ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ДЛЯ СТАНЦИЙ ВОРОНЕЖСКОЙ СЕТИ НАБЛЮДЕНИЙ

Пивоваров С.П., Пивоваров Р.С., Калинина Э.В., Ефременко М.А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН), Воронеж, Россия

Представлены результаты детального анализа разброса значений магнитуды, определяемой по поверхностным волнам MS для телесеismicических землетрясений, зарегистрированных сейсмическими станциями Воронежской сети (VMGSR), относительно значений, представленных в сводном бюллетене ФИЦ ЕГС РАН и бюллетене станции «Обнинск». На основе более 1000 землетрясений с магнитудой $MS > 4$ из разных районов с эпицентрными расстояниями от 10° до 180° , рассчитаны отклонения в определении магнитуды (ΔM) и построены схемы распределения ΔM . Установлено, что $\sim 90\%$ значений магнитуды землетрясений, зарегистрированных на сейсмических станциях сети VMGSR, не имеют отклонений больше допустимых погрешностей относительно значений в сводном бюллетене ФИЦ ЕГС РАН. В то же время, выделены зоны с отклонением значений магнитуды больше допустимых, относительно сводного бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН, как со знаком «+», так и со знаком «-». Показана целесообразность введения поправки магнитуды MS на величину $-0,3$ для землетрясений с эпицентрами в районе Японских островов, что повышает долю событий, для которых магнитуда определяется без отклонений относительно сводного бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН.

ВВЕДЕНИЕ

В практике обработки записей телесеismicических событий, как правило, для каждого землетрясения определяют магнитуды по поверхностной (MS) и по объемной (mb) волнам. В ряде случаев по данным различных сейсмических станций выявляется расхождение значений магнитуды одних и тех же землетрясений [1, 2]. В частности, в [3] показано, что при регистрации подземных ядерных испытаний, произведенных в Северной Корее, по записям сейсмических станций, расположенных в платформенной области, наблюдаются завышенные значения магнитуды MS относительно среднесетевого значения, что может свидетельствовать о влиянии геологической среды района наблюдений на результаты определения магнитуды сейсмических событий. Одной из геологических структур, в пределах которой могут наблюдаться такие отклонения, является Воронежский кристаллический массив (ВКМ). ВКМ представляет собой погребенный выступ субкрупных и магматических пород архейского и протерозойского возраста в центральной части Восточно-Европейской платформы (ВЕП), образующий кристаллический фундамент одноименной антеклизы [4].

В ранее проведенных исследованиях [5, 6] отмечены отклонения значений магнитуд, рассчитанных по записям станций Воронежской сети наблюдений (VMGSR) относительно значений магнитуд в сводном бюллетене ФИЦ ЕГС РАН [7] для землетрясений из некоторых сейсмоактивных зон. Обнаружена зависимость этих расхождений от расположения отдельных станций в центральной части ВЕП, в том числе и от районов очагов землетрясений [5, 6].

В настоящей статье приведены результаты детального анализа разброса значений магнитуды MS телесеismicических землетрясений, определяемой по

записям сейсмических станций, расположенных в пределах ВКМ, относительно друг друга и относительно сводного бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН. Исследование проведено с целью выяснения необходимости введения станционных поправок.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Воронежский кристаллический массив имеет сложное геологическое и тектоническое строение. Так в пределах ВКМ выделяются три структуры первого порядка: Курский мегаблок (мегаблок КМА), Хоперский мегаблок и разграничивающая их Лосевская шовная зона (ЛШЗ). Каждая из этих структур имеет свои специфические черты, которые проявляются как в геофизических полях, так и в строении эрозионного среза докембрия и более глубоких горизонтах литосферы [4].

Сейсмические станции Воронежской сети «Сторожевое» (VSR) и «Галичья гора» (LPSR) расположены в пределах ЛШЗ, сейсмическая станция «Новохоперск» (VRH) установлена в центральной части Хоперского мегаблока. Амплитудно-частотные характеристики приборов, используемых на всех рассматриваемых станциях, соответствуют периодам поверхностных волн, регистрируемых на различных эпицентральных расстояниях.

Один раз в год поверочный комплект Воронежской локальной сети сейсмических станций сверяется с оборудованием сейсмической станции «Обнинск», являющейся базовой для всей Федеральной сейсмологической сети России и входящей в мировую сеть сейсмических наблюдений. Сейсмическая станция «Обнинск» (OBN) находится на северной границе ВКМ в зоне сочленения с Московской синеклизой.

Сверка и работа сейсмического оборудования, обеспечивающие получение качественного материала

ОЦЕНКА РАСХОЖДЕНИЙ В ОПРЕДЕЛЕНИИ МАГНИТУД ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ДЛЯ СТАНЦИЙ ВОРОНЕЖСКОЙ СЕТИ НАБЛЮДЕНИЙ

ла, проводятся путем сравнения синхронных записей идентичных по амплитуде, фазе и спектральному составу на оборудовании разных станций сети, которые в период сверки размещаются в одно время и в одном месте. С учетом этого, бюллетень сейсмической станции «Обнинск» (OBN) был выбран в качестве «опорного» при интерпретации результатов исследования.

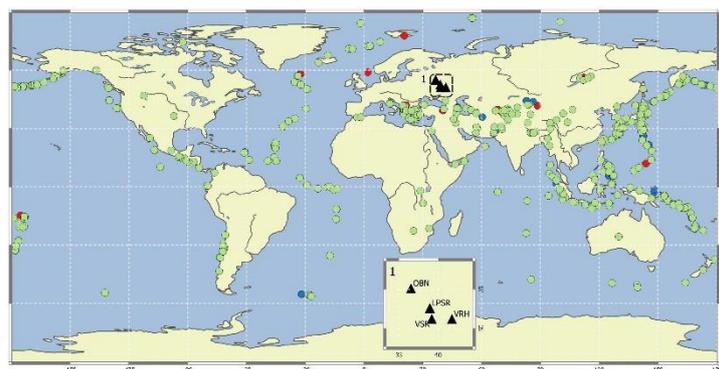
Анализ проведен с использованием сейсмологических бюллетеней, составленных по результатам обработки записей телесеismicических землетрясений, зарегистрированных широкополосными сейсмическими станциями VSR, LPSR и VRH в течение 2015–2018 гг. Исходные данные выбраны с учетом того, чтобы все сейсмические события были достаточно сильными, не глубокими и одновременно записанными всеми станциями. Всего за изученный период отобрано более 1000 землетрясений с магнитудами $M_S > 4$, с очагами в земной коре и верхней мантии, с четкими фазами сейсмических волн – продольной P и Релея LR , – на записях. Диапазон эпицентральных расстояний землетрясений составил от 10° до 180° .

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

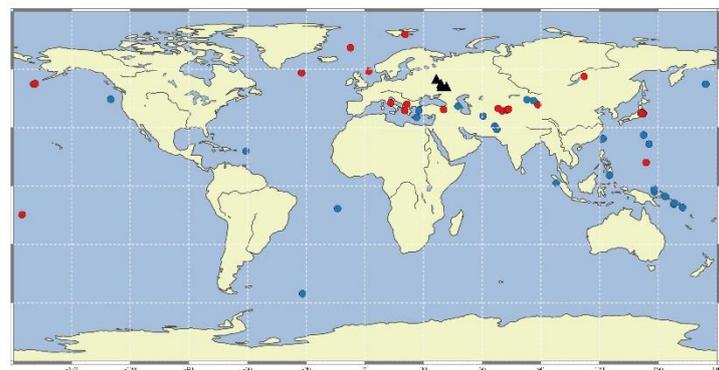
На первом этапе исследований оценены значения магнитуды M_S по записям землетрясений, зарегист-

рированных станциями Воронежской сети в сравнении с результатами замеров магнитуд «опорной» станции OBN. С этой целью построены схемы распределения отклонений значений ΔM магнитуды M_S исследуемых телесеismicических землетрясений. На рисунке 1 приведено распределение эпицентров землетрясений, для которых ΔM рассчитано по данным бюллетеня сейсмической станции OBN относительно сводного бюллетеня VMGSR.

При сравнении значений ΔM для станций Воронежской сети использовались результаты сводного бюллетеня VMGSR, рассчитанного как среднесетевое значение магнитуды по данным каждой сейсмической станции. Для каждого выбранного землетрясения погрешность определения магнитуды рассчитывалась по формуле: $\Delta M = M_{VMGSR} - M_{OBN}$ (где M_{VMGSR} – магнитуда из сводного бюллетеня VMGSR, M_{OBN} – магнитуда сейсмического события по данным сейсмической станции OBN). Анализ результатов показал, что более 95% значений магнитуд телесеismicических землетрясений, зарегистрированных сейсмическими станциями Воронежской сети наблюдений и приведенных к «опорной» станции «Обнинск», не имеют отклонений или имеют отклонения в пределах допустимой погрешности (рисунк 1-а).



а) все анализируемые эпицентры землетрясений



б) эпицентры землетрясений, имеющие отклонения ΔM

1 – $\Delta M = 0$; 2 – $\Delta M > 0,3$; 3 – $\Delta M < 0,3$; 4 – сейсмические станции

Рисунок 1. Схема распределения эпицентров землетрясений, для которых ΔM рассчитано по данным бюллетеня сейсмической станции OBN относительно сводного бюллетеня VMGSR

Вместе с тем, выделяются как единичные эпицентры, так и зоны эпицентров землетрясений с отклонением значений магнитуды M_S от допустимого с повышенными и пониженными значениями. Единичные отклонения значений магнитуд, по-видимому, связаны с наложением сигналов от нескольких сейсмических событий. Установлено, что к зонам с повышенными значениями магнитуды M_S относительно «опорной» станции OBN, относятся Курильские острова, Средиземноморье, а также районы Памира и Гиндукуша; к зонам с заниженными значениями магнитуды – зоны срединно-океанического хребта, Суматры, Филиппин и Фиджи. Смешанные зоны (как с положительным, так и с отрицательным отклонением M_S) установлены в районе Греции. На расхождения в определении значений M_S выделенных зон, оказывает влияние геологическая среда места установок сейсмической станции.

По первому этапу исследований сделан вывод, что значения магнитуды M_S , определенные по записям телесеизмических землетрясений, зарегистрированным сейсмическими станциями Воронежской сети наблюдений, в целом, сопоставимы с показаниями опорной станции «Обнинск».

На втором этапе исследований проведено сопоставление итоговых магнитуд M_S , приведенных в сейсмологических бюллетенях сети VMGSR, с магнитудами M_S из сводного бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН. На рисунке 2 показано распределение эпицентров землетрясений, для которых ΔM рассчитано как $\Delta M = M_{VMGSR} - M_{бюл}$ (где M_{VMGSR} – магнитуда из сводного бюллетеня VMGSR, $M_{бюл}$ – магнитуда сейсмического события по данным сводного бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН). Из рисунка 2-а видно, что анализируемая выборка сейсмических событий представительна и охватывает практически все сейсмоактивные зоны и регионы. Магнитуды основного объема событий (~86%), определенные по записям сети станций VMGSR и сопоставленные со сводным бюллетенем ФИЦ ЕГС РАН, не имеют отклонений или находятся в пределах допустимой погрешности. В то же время, выделяются некоторые зоны как с повышенным, так и заниженным значением магнитуды (рисунок 2-б).

К зонам с повышенными значениями магнитуды M_S относятся Япония, Камчатка, Алеуты и Центральная Америка. Заниженные значения магнитуды M_S отмечены в южной части срединно-атлантического хребта и единичные случаи – в Альпийско-Средиземноморском поясе. Выделенные зоны отклонений значений магнитуды, как со знаком «+», так и со знаком «-» находятся на различных эпицентральных расстояниях и в различных азимутальных направлениях. То есть, величина и знак ΔM определяются системой очаг-станция, а не азимутом или расстоянием.

Дополнительно проведено сопоставление полученных результатов определения ΔM с показаниями опорной сейсмической станции «Обнинск» относительно сводного бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН. Основ-

ной объем сейсмических событий, зарегистрированных станцией OBN, также не имеет отклонений в значениях магнитуды от указанных в сводном бюллетене. В то же время, выделяются сейсмоактивные зоны с повышенными и заниженными магнитудами, аналогичные зонам, выделенным для станций сети VMGSR (рисунок 2). Зоны с повышенными, относительно бюллетеня, значениями магнитуды M_S прослеживается, в основном, вокруг тихоокеанского огненного пояса, а область с заниженными значениями – в районе альпийского пояса.

Полученные результаты позволили сделать вывод, что сейсмические станции, расположенные в центральной части Восточно-Европейской платформы в пределах Воронежского кристаллического массива, имеют характерные особенности в определении магнитуды M_S событий из сейсмоактивных регионов, которые необходимо учитывать в дальнейшем.

К одному из регионов, который характеризуется расхождением значений магнитуды M_S , представленного в среднесетевом бюллетене VMGSR, в сравнении со сводным бюллетенем ФИЦ ЕГС РАН, относится район Японских островов. Порядка 67% повышенных значений магнитуды M_S от всего объема проанализированных сейсмических событий среди различных регионов приходится на этот район. Поэтому проведены более детальные исследования, для которых выбран участок данного района, ограниченный координатами 15° – 45° с. ш., 120° – 50° в. д. В таблице представлены исходные показатели отклонения значений M_S событий в пределах этого участка.

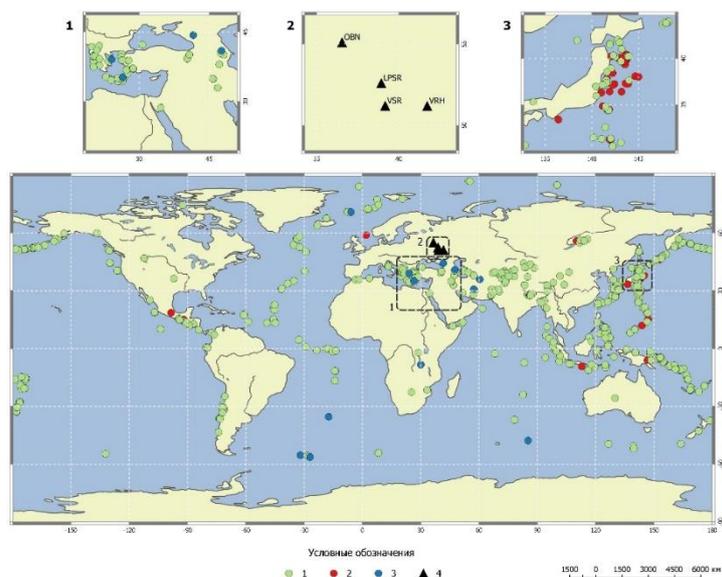
Таблица. Показатели отклонений значений магнитуд M_S сейсмических событий в районе Японских островов на участке, ограниченном координатами 15° – 45° с. ш., 120° – 150° в. д.

Магнитуда	Исходные показатели, %	Итоговые показатели, %			
		величина поправки			
		-0,1	-0,2	-0,3	-0,4
Без отклонений	65,1	77,0	83,3	87,3	84,9
Завышенная	34,9	21,4	15,1	6,3	2,4
Заниженная	0,0	1,6	1,6	6,3	12,7

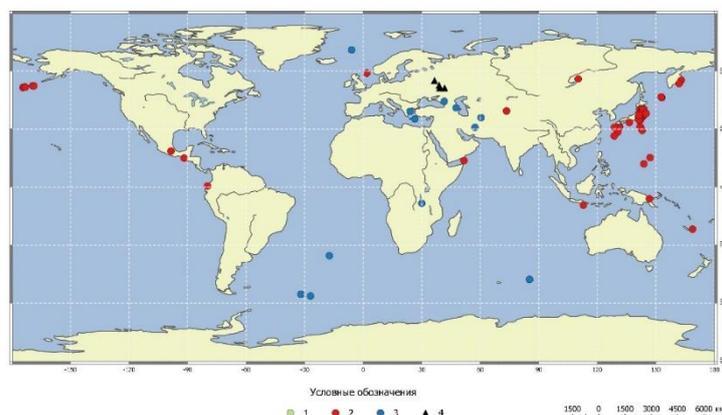
Как видно из таблицы, 65% всех зарегистрированных событий не имеют отклонений M_S или находятся в пределах допустимой погрешности, порядка 35% имеют повышенные значения магнитуды относительно сводного бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН и полностью отсутствуют события с заниженными значениями магнитуды.

Анализ различных вариантов возможных поправок, показал, что оптимальной для данного региона является поправка в $-0,3$ магнитуды. Введение поправки на величину $-0,3$ магнитуды M_S сейсмических событий, зарегистрированных на исследуемом участке, позволит более оптимально рассчитывать магнитуду событий без отклонений или в пределах допустимых погрешностей относительно сводного бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН, с 65% до 87%.

**ОЦЕНКА РАСХОЖДЕНИЙ В ОПРЕДЕЛЕНИИ МАГНИТУД ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ
ДЛЯ СТАНЦИЙ ВОРОНЕЖСКОЙ СЕТИ НАБЛЮДЕНИЙ**



а) все анализируемые эпицентры землетрясений



б) эпицентры землетрясений, имеющие отклонения ΔM

1 – $\Delta M = 0$; 2 – $\Delta M > 0,3$; 3 – $\Delta M < 0,3$

Рисунок 2. Схема распределения эпицентров землетрясений, для которых ΔM рассчитано по данным бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН относительно сводного бюллетеня VMGSR

Это позволит увеличить на 6% количество событий, для которых магнитуда будет определена без отклонений или в пределах допустимых погрешностей из всех сейсмоактивных регионов – с 86 до 92%.

Выводы

Около 90% проанализированных землетрясений, зарегистрированных сетью станций VMGSR, не имеют отклонений значений магнитуды M_S , относительно магнитуд, полученных на опорной сейсмической станции OBN и сводного бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН выше допустимого предела. Выделяются сейсмоактивные зоны, где имеются отклонения M_S как со знаком «+», так и со знаком «-» относительно сводного бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН. Величина и знак ΔM , ве-

роятно, определяются геологическим строением на трассе очаг-станция, а не азимутом или расстоянием. Введение поправки на величину $-0,3$ в значения магнитуды M_S для землетрясений с эпицентрами в районе Японских островов позволит повысить количество событий, для которых магнитуда будет определена без отклонений или в пределах допустимых погрешностей относительно сводного бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН, с 65% до 87%.

***Благодарность.** Авторы выражают благодарность сотрудникам сейсмической станции «Обнинск» и лично Коломиец М.В. за предоставленные бюллетени.*

ЛИТЕРАТУРА

1. Ландырева, Н.С. Определение MLH при составлении «Сейсмологического бюллетеня сети опорных сейсмических станций ЕССН» / Н.С. Ландырева. – М.: Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений, 1974. – Т. II. – С. 9–18.
2. Ванек, Й. Магнитуда землетрясений в сейсмологической практике. Волны *PV* и *PVs* / Й. Ванек., Н.В. Кондорская, Л. Христосков. – София : Издательство Болгарской академии наук, 1980. – 263 с.
3. Маловичко, А.А. Регистрация подземных ядерных испытаний и наведенной сейсмичности в Северной Корее в 2016–2017 гг. российскими сейсмическими станциями / А.А. Маловичко, И.П. Габсатарова, М.В. Коломиец // Вестник НЯЦ РК, 2018. – Выпуск 2 – С. 20–26.
4. Чернышов, Н.М. Литосфера Воронежского кристаллического массива по геофизическим и петрофизическим данным / Главн. Ред. Н.М. Чернышов. – Воронеж : Научная книга, 2012. – 330 с.
5. Ефременко, М.А. Оценка магнитудных невязок для сейсмической станции «Галичья гора» / М.А. Ефременко, Р.С. Пивоваров, Э.В. Калинина // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XII международной сейсмологической школы / Отв. Редактор А.А. Маловичко. – Обнинск: ФМЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 163–165.
6. Пивоваров, Р.С. Оценка магнитудных невязок широкополосной сейсмической станции «Сторожевое» / Р.С. Пивоваров, Э.В. Калинина // Двадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике. Сборник научных материалов. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2019. – С. 149–151.
7. ФИЦ ЕГС РАН. Сводный бюллетень [Электронный ресурс] / Режим доступа: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin, свободный.

ВОРОНЕЖ БАҚЫЛАУ ЖЕЛІСІНІҢ СТАНЦИЯЛАРЫ ҮШІН ТЕЛЕСЕЙСМИКАЛЫҚ ЖЕР СІЛКІНУЛЕРДІҢ МАГНИТУДАСЫН АНЫҚТАУДАҒЫ АЙЫРМАШЫЛЫҚТЫ БАҒАЛАУ

С.П. Пивоваров, Р.С. Пивоваров, Э.В. Калинина, М.А. Ефременко

Ресей Ғылым академиясының «Бірыңғай геофизикалық қызметі» Федералдық зерттеу орталығы, Воронеж, Ресей

Воронеж желісінің (VMGSR) сейсмикалық станцияларымен тіркелген телесеисмикалық жер сілкінулері үшін *MS* магнитудасының мәндері шашырауын егжей-тегжейлі талдауының нәтижелері, РФА БМБС ФИЦ жиынтық бюллетенінде және «Обнинск» станциясының бюллетенінде ұсынылған мәндерге қатысты. 1000 астам *MS* магнитудасы бар жерсілкінулерінің негізінде 100-ден 1800-ге дейінгі эпицентралды арақашықтығы бар әр түрлі аудандардан 4-тен астам магнитуданы (ΔM) анықтаудағы ауытқулар есептелген және ΔM тарату схемалары салынған. VMGSR желісінің сейсмикалық станцияларында тіркелген жер сілкінулері магнитудасының ~90% мәндерінің РФА БМБС ҰО жиынтық бюллетеніндегі мәндерге қатысты рұқсат етілген кәтеліктерден артық ауытқулары жоқ екені анықталды. Сонымен қатар, магнитуда мәндерінің ауытқуы рұқсат етілген, «+» белгісімен, сондай-ақ «-» белгісімен РФА ЖҒЗЖ ФИЦ жиынтық бюллетеніне қатысты аймақтар бөлінген. Жапон аралдарының ауданында эпицентрлі жер сілкінулері үшін *MS* магнитуда $-0,3$ өлшеміне түзетулер енгізудің орындылығы көрсетілген, бұл магнитуда РФА ФИЦ ЕГС жиынтық бюллетеніне қатысты ауытқусыз анықталатын оқиғалардың үлесін арттырады.

ASSESSMENT OF DISCREPANCIES IN IDENTIFICATION OF MAGNITUDES OF TELESEISMIC EARTHQUAKES FOR THE STATIONS OF VORONEZH OBSERVATION NETWORK

S.P. Pivovarov, R.S. Pivovarov, E.V. Kalinina, M.A. Yefremenko

Federal Research Center United Geophysical Service of Russian Academy of Sciences, Voronezh, Russia

The paper presents results of detailed analysis of range of magnitude *MS* values for teleseismic earthquakes recorded by seismic stations of Voronezh network (VMGSR) with regards to values presented in the cumulative bulletin of FRC UGS RAS and Obninsk station bulletin. Based on more than 1000 earthquakes with magnitude *MS* of more than 4 from different regions with epicentral distances from 10^0 to 180^0 , deviations in identification of the magnitude (ΔM) are calculated and distribution scheme of ΔM was created. It was established that ~90% of the magnitude values of earthquakes recorded by seismic stations of VMGSR network, do not have deviations of more than allowed errors with regards to the values in cumulative bulletin of FRC UGS RAS. At the same time, areas with deviation of magnitude values of more than allowed ones were identified with regards to the cumulative bulletin of FRC UGS RAS, both with “+” sign and “-” sign. The purposefulness of recording of errors on the value of -0.3 of magnitude *MS* for the earthquakes with epicenters in the vicinity of Japanese islands was shown; this increases the share of events, for which the magnitude is identified without deviations with regards to the cumulative bulletin of FRC UGS RAS.