

Хачикян Г.Я., Жумабаев Б.Т., Тойшиев Н.С.,
Кайраткызы Д., Сералиев А.М., Хасанов Э.Р.

Национальный центр космических исследований и технологий
ДТОО Институт ионосферы, г. Алматы, Казахстан
galina.khachikyan@gmail.com

ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНО ВОЗМОЖНОЙ МАГНИТУДЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РАЗЛИЧНЫХ СЕЙСМОАКТИВНЫХ РЕГИОНАХ ПО ГЕОМАГНИТНЫМ ДАННЫМ

Аннотация. Продолжены исследования по разработке способа определения максимально возможной магнитуды землетрясения (M_{max}) в сейсмоактивных регионах планеты по геомагнитным данным. В основу исследования положено эмпирическое соотношение, полученное ранее для всей планеты в виде: $M_{max} = a + b\{\log[\text{abs}(Z_{GSM})]\}$, где Z_{GSM} есть значение геомагнитной Z -компоненты в эпицентре землетрясения во время сейсмического события, рассчитанное по международной справочной модели геомагнитного поля (IGRF), a , b – эмпирические коэффициенты. Приведенное соотношение аппроксимирует экспериментальные данные для всей планеты с коэффициентом корреляции $R=0.91$, однако, при расчете M_{max} для Алматинского сейсмоактивного региона, значение коэффициента корреляции существенно повысилось до $R=0.999$, что возможно обусловлено высокой чувствительностью локальной сейсмологической сети, позволяющей определять магнитуды текущих сейсмических событий с высокой точностью. В данной работе получены эмпирические коэффициенты линейной зависимости между значениями геомагнитной Z – компоненты в геоцентрической солнечно-магнитосферной системе координат и максимально возможной магнитудой землетрясения для территории внутриплитовой сейсмичности в Евразии, трансформного разлома Сан-Андреас и Зондской зоны субдукции. Расчеты проведены на основе данных глобального сейсмологического каталога NEIC для землетрясений с магнитудой 4.5 и более.

Ключевые слова: главное геомагнитное поле, максимально возможная магнитуда землетрясений.

Введение

Сейсмические станции нашей планеты (их насчитывалось уже к 2000 году более 3000), ежегодно регистрируют до миллиона землетрясений, среди которых порядка 7000 являются достаточно ощутимыми (начиная с магнитуды 4.5), а примерно 18-20 событий – катастрофическими (с магнитудой более 7.0). Наиболее остро стоит вопрос о прогнозе именно этих сильных землетрясений, в результате которых могут погибать сотни тысяч человек, как в случае Суматринского события $M9.1$, 26 декабря 2004г, а экономический ущерб может достигать сотен миллиардов долларов США, как в случае Японского землетрясения $M9.0$, 11 марта 2011г. Задачей прогноза является предупреждение населения о месте, времени и магнитуде землетрясения. Сильные землетрясения происходят, как правило, в определенных зонах (сейсмических поясах) расположение которых на планете достаточно хорошо известно. С использованием данных наземно-

космического мониторинга современных движений земной коры и разработанных геомеханических моделей, представляется возможным более четко локализовать место подготовки тектонического землетрясения на основе расчета основных параметров напряженно-деформированного состояния региона [1, 2]. То есть, в настоящее время в службу прогноза землетрясений, в принципе, может поступать регулярная сейсмопрогностическая информация для предсказания места возможного землетрясения. Что касается прогноза времени возникновения землетрясения, то в последние десятилетия и в этом вопросе достигнут определенный прогресс, благодаря, в том числе, данным космического мониторинга. Так, при исследовании спутником DEMETER в 2004-2010гг ионосферных аномалий в связи с землетрясениями статистически достоверно показано, что наибольшее число ионосферных аномалий наблюдается за 1 сутки до основного толчка на расстоянии 100-700 км от

будущего эпицентра [3]. Временной интервал прогноза (1 сутки) представляется возможным сузить до 0-4 часов, если анализировать одновременно и другой вид сейсмопрогностической информации, также полученной спутником DEMETER при регистрации естественного излучения Земли в ОНЧ диапазоне. Суть результата заключается в том, что для 8400 коровых землетрясений с магнитудой $M \geq 5.0$ было статистически достоверно установлено, что интенсивность принимаемых ОНЧ сигналов на частоте 1.7 кГц ослабляется примерно на 3 дБ, если радиоволна на пути к спутнику проходит через район будущего землетрясения за 0 - 4 час. до основного сейсмического толчка [4]. Вполне возможно, что дальнейшие исследования в области отмеченных выше направлений позволят более точно локализовать как место подготовки землетрясения, так и время его возникновения. Тогда остается решить третий вопрос - дать прогноз на магнитуду предстоящего землетрясения. Данная статья связана с исследованиями в этой области, а именно с оценкой максимально возможной магнитуды землетрясения в конкретном сейсмоактивном районе по геомагнитным данным.

Эмпирические соотношения для расчета максимально возможной магнитуды землетрясений по геомагнитным данным

Несколько лет назад в работе [5] было показано, что значение максимально возможной магнитуды землетрясения в сейсмоактивном районе может быть определено, в первом приближении, по максимально возможной в этом районе величине логарифма абсолютного значения геомагнитной Z -компоненты, рассчитанной в геоцентрической солнечно-магнитосферной системе координат $\{\log[\text{abs}(Z_{\text{GSM}})]\}$. На основе данных глобального сейсмологического каталога NEIC для землетрясений с магнитудой $M \geq 4.5$, произошедших на планете в 1973-2010 гг. было получено эмпирическое соотношение [5]:

$$M_{\text{max}} = a + b(\log[\text{abs}(Z_{\text{GSM}})]), \quad (1)$$

где $a = 5,22 \pm 0,17$; $b = 0,78 \pm 0,06$ с коэффициентом корреляции $R = 0.91$, среднеквадратическим отклонением $SD = 0.56$, вероятностью 95%. В работе [6] коэффициенты регрессионного выражения были уточнены для территории Алматинского сейсмоактивного региона по данным о классе землетрясений. Для этой территории эмпирическое соотношение получено в виде [6]:

$$K_{\text{max}} = a + b(\log[\text{abs}(Z_{\text{GSM}})]), \quad (2)$$

где $a = 5.4 \pm 0.13$; $b = 2.46 \pm 0.05$ с коэффициентом корреляции $R = 0.999$, практически нулевым среднеквадратическим отклонением, с вероятностью 95%. Расхождение в точности аппроксимационных соотношений ($R = 0.91$) и ($R = 0.999$) может быть обусловлено несколькими причинами: неточностью методического подхода к решению задачи, различием структурно-вещественного состава земной коры в разных сейсмоактивных регионах, ошибкой в экспериментально определенных значениях магнитуд сейсмических событий. В пользу последней возможности говорит факт практически идеальной аппроксимации K_{max} на территории Алматинского прогностического полигона, которая оснащена достаточным количеством сейсмических станций и энергетические характеристики землетрясений определяются с высокой степенью точности. В этой связи целесообразно продолжить исследования [5, 6] по данным других регионов планеты с заведомо разным типом тектонического строения. Были выбраны три региона: территория в районе трансформного разлома Сан-Андреас между Тихоокеанской и Североамериканской литосферными плитами, где одна плита смещается горизонтально относительно другой, территория Альпско-Гималайского орогенного пояса, образовавшегося в процессе конвергенции литосферных плит, и Зондская зона субдукции, где одна плита пододвигается под другую. Эти три территории выделены на карте эпицентров землетрясений (рисунок 1 в приложении) белыми прямоугольниками. На рисунках 2-4 представлены зависимости магнитуды землетрясений от параметра $\{\log[\text{abs}(Z_{\text{GSM}})]\}$ в регионе.

Коэффициенты уравнения линейной регрессии между значениями M_{max} и магнитным параметром $\{\log[\text{abs}(Z_{\text{GSM}})]\}$ для трех

исследуемых территорий следующие: для трансформного разлома Сан-Андреас (рисунок 2): $a=(4,04 \pm 0,38)$; $b=(0,7 \pm 0,13)$ с коэффициентом корреляции $R=0,91$, среднее квадратическим отклонением $SD=0,34$, вероятностью 95%; для Альпийско-Гималайского орогенного пояса (рисунок 3): $a=(12,44 \pm 0,48)$; $b=(1,15 \pm 0,2)$ с коэффициентом корреляции $R=0,87$, среднее квадратическим отклонением $SD=0,98$, вероятностью 95%; и для Зондской зоны субдукции (рисунок 4): $a=(-17,5 \pm 1,5)$; $b=(5,7 \pm 0,4)$ с коэффициентом корреляции $R=0,97$, среднее квадратическим отклонением $SD=0,4$, с вероятностью 95%.

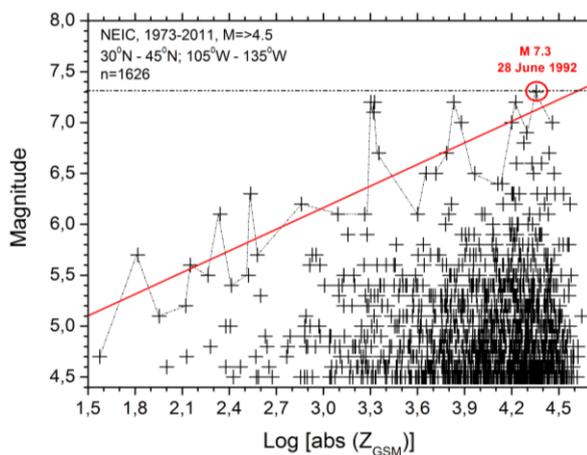


Рисунок 2 – Магнитуда землетрясений, произошедших на территории трансформного разлома Сан-Андреас в зависимости от значения геомагнитного параметра $\log[\text{abs}(Z_{\text{GSM}})]$ в эпицентре во время события

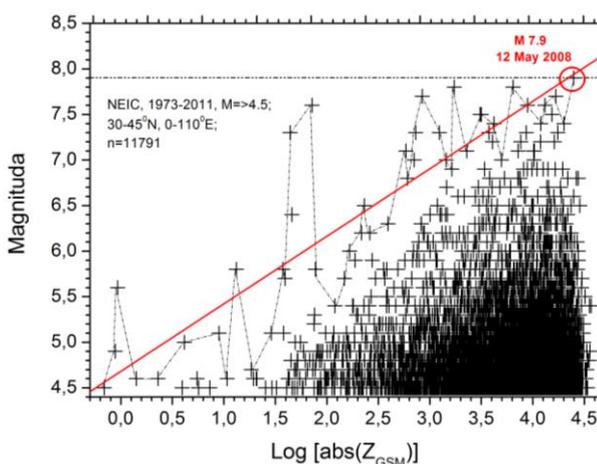


Рисунок 3 – Магнитуда землетрясений, произошедших на территории Альпийско-Гималайского орогенного пояса в зависимости от значения геомагнитного параметра $\log[\text{abs}(Z_{\text{GSM}})]$ в эпицентре во время события

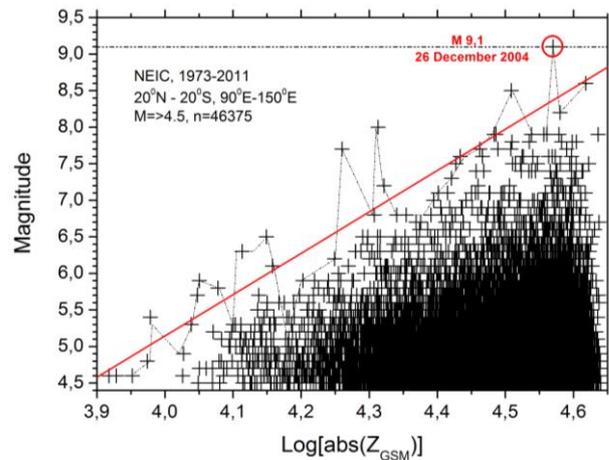


Рисунок 4 – Магнитуда землетрясений, произошедших на территории Зондской зоны субдукции в зависимости от значения геомагнитного параметра $\log[\text{abs}(Z_{\text{GSM}})]$ в эпицентре во время события

Из рисунков 2-4 и приведенных значений коэффициентов следует, что самая маленькая величина коэффициента корреляции ($R=0,87$) и при этом самая большая величина среднее квадратического отклонения ($SD=0,98$) наблюдается для территории Альпийско-Гималайского орогенного пояса. Этот факт вполне может быть связан с ошибкой определения магнитуды землетрясений в этом регионе из-за наличия труднодоступных высокогорных районов не достаточно оснащенных сейсмическими станциями. Также, сравнение результатов на рисунках 2–4 позволяет заключить, что самые сильные землетрясения происходили в районе Зондской зоны субдукции. За период с 1973г.самым сильным на планете было землетрясение с магнитудой $M=9.1$ 26 декабря 2004г., и произошло это событие именно в Зондской зоне субдукции вблизи острова Суматра (красный круг на рисунке 4). Сравнительный анализ рисунков 2 и 3 показывает, что в регионе трансформного разлома Сан-Андреас и в регионе Альпийско-Гималайского орогенного пояса максимальные значения геомагнитного параметра были практически равны $\{\log[\text{abs}(Z_{\text{GSM}})]\} \approx 4,5$. Однако, максимальные наблюдаемые магнитуды землетрясений по данным на рисунке 3 больше, чем на рисунке 2 (красные круги). На территории Альпийско-Гималайского орогенного пояса (рисунок 3) самым сильным сейсмическим событием за рассмотренный период времени

было Сычуаньское землетрясение в Китае, произошедшее 12 мая 2008г с магнитудой $M=7.9$, а в районе трансформного разлома Сан-Андреас самым сильным было землетрясение с магнитудой только $M=7.3$, произошедшее в июне 1992г в ста милях к востоку от г. Лос-Анджелес. Этот факт может говорить в пользу влияния структурно-вещественного состава земной коры сейсмоактивного региона на характер связи сейсмopotенциала (M_{max}) с параметрами геомагнитного поля.

Заключение

Сейсмopotенциал (M_{max}) является ключевым параметром при оценке сейсмической опасности, при решении задач сейсмического районирования, и разработка методов прогноза величины M_{max} является актуальной задачей. В работе показано, что в первом приближении, величину сейсмopotенциала в конкретном сейсмоактивном регионе можно определить по данным о геомагнитной Z_{GSM} -компоненте. Корреляционные соотношения можно использовать для коррекции магнитуд землетрясений, происходящих на удаленных территориях, не достаточно оснащенных сейсмическими станциями. Кроме этого, уравнения могут представлять ценность при прогнозе землетрясений, когда требуется предсказать магнитуду предстоящего землетрясения, если его место и время уже спрогнозированы.

Список литературы

1 Жантаев Ж.Ш., Мусабаев Т.А., Бибосинов А.Ж. Наземно-космические технологии изучения динамики земной коры и развитие методов прогноза землетрясений. – Алматы: Lambert Academic Publishing, 2013. – 348 с.

2 Жантаев, Ж. Ш. Модель напряженного состояния неоднородной земной коры и ее приложение к условиям Тянь Шаньского сейсмогена [Текст]: автореф. дис. докт. физ.-мат. наук: 04.00.22 Геофизика / Жантаев, Ж. Ш. Алматы : [б. и.], 1995, 34 с.

3 Parrot M., M. Li. DEMETER Results Related to Seismic Activity // Radio Science Bulletin. 2015. - № 355. - P. 18-25.

4 Piša D., F. Němec, O. Santolík, M. Parrot, and M. Rycroft. Additional Attenuation of Natural VLF Electromagnetic Waves Observed by the DEMETER Spacecraft Resulting from Preseismic Activity. // Journal Geophysical Research. 2013. - V. 118. – P. 5286-5295.

5 Khachikyan G., Inchin A., Lozbin A. Spatial distribution of seismicity: relationships with geomagnetic Z-component in geocentric solar magnetospheric coordinate system. International Journal of Geosciences. 2012. – V.3. – № 5. – P. 1084-1088.

6 Хачикян Г.Я., Садыкова А.Б., Стихарная Г.Г. Об оценке частоты повторяемости и силы землетрясений на основе геомагнитной Z_{GSM} - компоненты (например Алматинского региона). Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан. ISSN 1991-3494.- 2015.- №2.С.101-106.

Работа выполнена в рамках РПБ 008 «Прикладные научные исследования в области космической деятельности» по проекту: «Разработать методические основы оценки сейсмической опасности на основе данных о вариациях солнечной активности, геомагнитного поля и скорости вращения Земли». Регистрационный номер (РН) 0115PK01276.

Принято к публикации 6.04.2017

Приложение

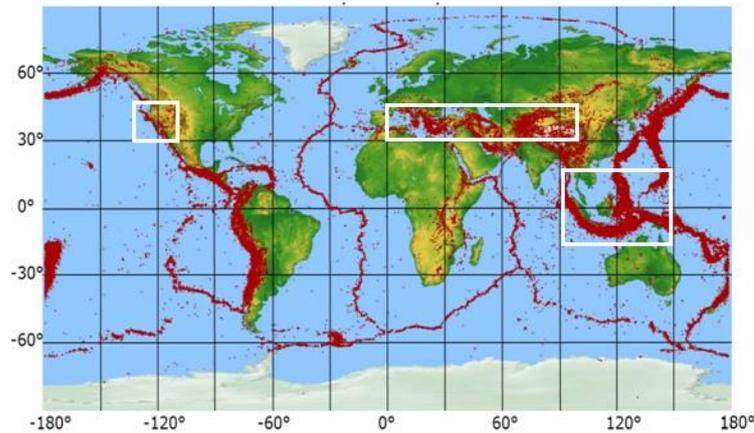


Рисунок 1 – Карта эпицентров землетрясений с магнитудой $M \geq 4.5$ (красные круги), белые прямоугольники – районы исследования.

Хачикян Г.Я., Жумабаев Б.Т., Тойшиев Н.С.,
Кайраткызы Д., Сералиев А.М., Хасанов Э.Р.

Национальный центр космических исследований и технологий
ДТОО Институт ионосферы, г. Алматы, Казахстан
galina.khachikyan@gmail.com

ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНО ВОЗМОЖНОЙ МАГНИТУДЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РАЗЛИЧНЫХ СЕЙСМОАКТИВНЫХ РЕГИОНАХ ПО ГЕОМАГНИТНЫМ ДАННЫМ

Аннотация. Продолжены исследования по разработке способа определения максимально возможной магнитуды землетрясения (M_{max}) в сейсмоактивных регионах планеты по геомагнитным данным. В основу исследования положено эмпирическое соотношение, полученное ранее для всей планеты в виде: $M_{max} = a + b \{ \log[\text{abs}(Z_{GSM})] \}$, где Z_{GSM} есть значение геомагнитной Z -компоненты в эпицентре землетрясения во время сейсмического события, рассчитанное по международной справочной модели геомагнитного поля (IGRF), a , b – эмпирические коэффициенты. Приведенное соотношение аппроксимирует экспериментальные данные для всей планеты с коэффициентом корреляции $R=0.91$, однако, при расчете M_{max} для Алматинского сейсмоактивного региона, значение коэффициента корреляции существенно повысилось до $R=0.999$, что возможно обусловлено высокой чувствительностью локальной сейсмологической сети, позволяющей определять магнитуды текущих сейсмических событий с высокой точностью. В данной работе получены эмпирические коэффициенты линейной зависимости между значениями геомагнитной Z – компоненты в геоцентрической солнечно-магнитосферной системе координат и максимально возможной магнитудой землетрясения для территории внутриплитовой сейсмичности в Евразии, трансформного разлома Сан-Андреас и Зондской зоны субдукции. Расчеты проведены на основе данных глобального сейсмологического каталога NEIC для землетрясений с магнитудой 4.5 и более.

Ключевые слова: главное геомагнитное поле, максимально возможная магнитуда землетрясений.

Khachikyan G., Zhumabayev B., Toishiev N., Kairatkizy D., Serailov A., Khassanov E.
National Center of Space Research and Technology
Institute of Ionosphere, 050020, Almaty, Kazakhstan
galina.khachikyan@gmail.com

ESTIMATION OF MAXIMUM POSSIBLE MAGNETIDE OF EARTHQUAKE IN VARIOUS SEISMOACTIVE REGIONS BY GEOMAGNETIC DATA

Abstract: Studies have continued on the development of a method for determining the maximum possible magnitude of an earthquake (M_{max}) in the seismically active regions of the planet from geomagnetic data. The research is based on the empirical relationship obtained earlier for the whole planet in the form: $M_{max} = a + b \{\log [\text{abs}(Z_{GSM})]\}$, where Z_{GSM} is the value of the geomagnetic Z-component in the epicenter of the earthquake during the seismic event, calculated from the international reference model of the geomagnetic field (IGRF), a , b - empirical coefficients. The given ratio approximates the experimental data for the entire planet with the correlation coefficient $R = 0.91$, however, when calculating M_{max} for the Almaty seismically active region, the value of the correlation coefficient has significantly increased to $R = 0.999$, which is probably due to the high sensitivity of the local seismological network, allowing to determine the magnitude of current seismic events with high accuracy. In this paper, the empirical coefficients of the linear dependence between the values of the geomagnetic Z component in the geocentric solar magnetosphere coordinate system and the maximum possible magnitude of the earthquake for the intra-plate seismicity in Eurasia, the San Andreas transform fault and the Sunda subduction zone were obtained. The calculations are based on data from the global seismological catalog NEIC for earthquakes with a magnitude of 4.5 or more.

Keywords: main geomagnetic field, maximum possible magnitude of earthquakes.

Хачикян Г.Я., Жумабаев Б.Т., Тойшиев Н.С., Кайраткызы Д., Сералиев А.М., Хасанов Э.Р.

*Ұлттық ғарыштық зерттеулер мен технологиялар орталығы
Ионосфера институты ЕЖШС, Алматы, Қазақстан
galina.khachikyan@gmail.com*

ГЕОМАГНИТТІК ДЕРЕКТЕР БОЙЫНША ӘР ТҮРЛІ СЕЙСМИКАЛЫҚ БЕЛСЕНДІ АЙМАҚТАРДАҒЫ ЖЕР СІЛКІНІСІНІҢ МАКСИМАЛДЫ МҮМКІН БОЛА АЛАТЫН МАГНИТУДАСЫН БАҒАЛАУ

Аннотация. Геомагниттік деректер әлемнің сейсмикалық белсенді аймақтарындағы жер сілкінісі максималды мүмкін бола алатын магнитудасын анықтаудың дамыту тәсілдерін зерттеуді жалғастырады. Зерттеулердің негізінде барлық планеталар үшін мынандай эмпирикалық қатынастар алынды: $M_{max} = a + b \{\log[\text{abs}(Z_{GSM})]\}$, мұндағы Z_{GSM} - геомагниттік өрістің халықаралық сілтемелі моделі арқылы есептелінген сейсмикалық оқиғалары кезінде жер сілкінісінің кіндігіндегі геомагниттік Z-компоненттерінің мәні, ал a , b – эмпирикалық коэффициенттері болып табылады. Жүргізілген қарым-қатынастар барлық планеталар үшін $R = 0,91$ корреляция коэффициенті эксперименттік деректерден алынған нәтижелермен сәйкес келеді, дегенмен, Алматы сейсмикалық белсенді аймағы үшін есептелген корреляция коэффициенті $R=0.999$ -ны құрайды, бұл мүмкін ағымдағы сейсмикалық оқиғалардың магнитудасының шамасын жоғары дәлдікпен анықтауға мүмкіндік беретін жергілікті сейсмологиялық желісінің жоғары сезімталдығымен байланысты екенін көрсетеді. Күн-магнитосфералық геоцентрлік координат жүйесінің (Z_{GSM}) геомагниттік Z –компонент мәндері мен Еуразиялық ауданы ішкіплиталы сейсмикалық, Сан-Андреас ауыспалы сынығы және Зонд Субдукция аймақтары үшін жер сілкінісінің (M_{max}) максималды мүмкін бола алатын магнитудасының мәндері арасындағы сызықтық тәуелділігінің эмпирикалық коэффициенттері алынды. Есептеулер магнитудасы 4,5 немесе одан да көп жер сілкіністері үшін жаһандық сейсмологиялық NEIC каталогының деректерінің негізінде жүргізілді.

Түйін сөздер: жердің негізгі магнит өрісі, жер сілкінісінің магнитудасы.