

periods of 499c and 330c, and oscillations with periods of 20-50 minutes. The delay of reaction surface atmosphere at sunrise is about one hour due to the closing point of observation by the mountains. The perturbations in the fluctuations of atmospheric pressure micro pulsations last approximately 1.5-2 hours after the passage of the solar terminator.

Keywords: micropulsations of atmospheric pressure, solar terminator.

Поступила 2.09.2013г.

УДК 550.3

*Ж. Ш. ЖАНТАЕВ, Н. Г. БРЕУСОВ, А. В. ВИЛЯЕВ,
А. П. СТИХАРНЫЙ, С. М. НУРАКЫНОВ*

(ДТОО «Институт ионосферы» АО «НЦКИТ», Алматы, Республика Казахстан)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙСМОГЕННЫХ ОПОЛЗНЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ GIS

Аннотация. В работе рассматривается метод выделения оползневых участков, обусловленных сейсмической активностью. Применяются GIS технологии и расчеты критических параметров образования оползней по методу Ньюмарка. Используются: цифровая модель рельефа по снимкам радиометра ASTER спутника NASA Terra, параметры сейсмического режима территории, инженерно-геологические параметры грунтов. На примере северного склона хребта Иле-Алатау получено распределение сейсмических смещений. По критерию стабильности выделены участки развития сейсмогенных оползней. Делается вывод о необходимости детализации параметров, определяющих точность получаемой детерминистской модели.

Ключевые слова: сейсмичность, сейсмическое смещение, оползень, цифровая модель рельефа, метод Ньюмарка, оползневая опасность, картирование.

Тірек сөздер: сейсмикалық, сейсмикалық жылжулар, сырғыма, жер бетінің сандық үлгісі, Ньюмарктың үлгісі, сырғымалардың қауіптілігін картографиялау.

Keywords: seismic, seismic shift, a landslide, a digital elevation model, Newmark method, landslide hazard mapping.

Около 30% территории Казахстана, на которой проживает более 6 млн. человек и сосредоточено 40% промышленного потенциала республики, подвержено сильным землетрясениям. Наиболее сейсмичны тектонические структуры хребтов Северного Тянь-Шаня [1]. Здесь произошло около десятка разрушительных землетрясений, два из которых (Чиликское 1889 г. и Кеминское 1911 г.) с магнитудой $M > 8.0$ относятся к мировым катастрофам. Наиболее сильные сейсмические события вызвали крупные оползни и обвалы. В этой связи анализ воздействия сильных землетрясений на устойчивость горных склонов в оползнеопасных районах Казахстана представляется чрезвычайно важным для оценки оползневой опасности.

Цель работы – адаптация метода моделирования сейсмогенных смещений по Ньюмарку [12] для выявления возможных оползнеопасных участков, обусловленных сейсмической активностью, с использованием космических снимков. В рамках модельного подхода районирования территории рассматривается безусловная генерация оползневой опасности как следствие землетрясения.

Исходными данными метода моделирования вероятных сейсмогенных оползней на основе модели Ньюмарка [3, 7] служат следующие факторы:

- геологические – состав и свойства пород (удельная плотность, коэффициент сцепления, угол внутреннего трения)
- геоморфологические – крутизна склона, мощность слоя
- гидрологические – увлажненность грунтов
- сейсмические параметры землетрясения – магнитуда, гипоцентрально-расстояние, закон затухания сейсмических колебаний.

Основными движущими силами в модели Ньюмарка являются – гравитационная сила и сила сейсмического воздействия от землетрясения. Т.е. в классификации по механизму смещения

оползневое тела рассматриваются сейсмогравитационные оползни – смещение горных пород на более низкий уровень под действием силы тяжести, инициированное сейсмическим толчком. Оползень представляется как бесконечный плоский твердый слой, лежащий на наклонном основании и имеющий по подошве увлажненный слой скольжения определенной мощности.

Необходимым условием дестабилизации склона является превышение максимального ускорения грунта от землетрясения над критическим (пороговым) ускорением блока горных пород в точке воздействия. По соотношению критического ускорения к максимальному сейсмическому определяется накопленное (косейсмическое) смещение, являющееся критерием степени оползневой опасности.

Описанный способ моделирования был реализован на примере северного склона хребта Иле Алатау для района, ограниченном координатами по широте N43,05-N43.4 и по долготе E76.75-E77.15.

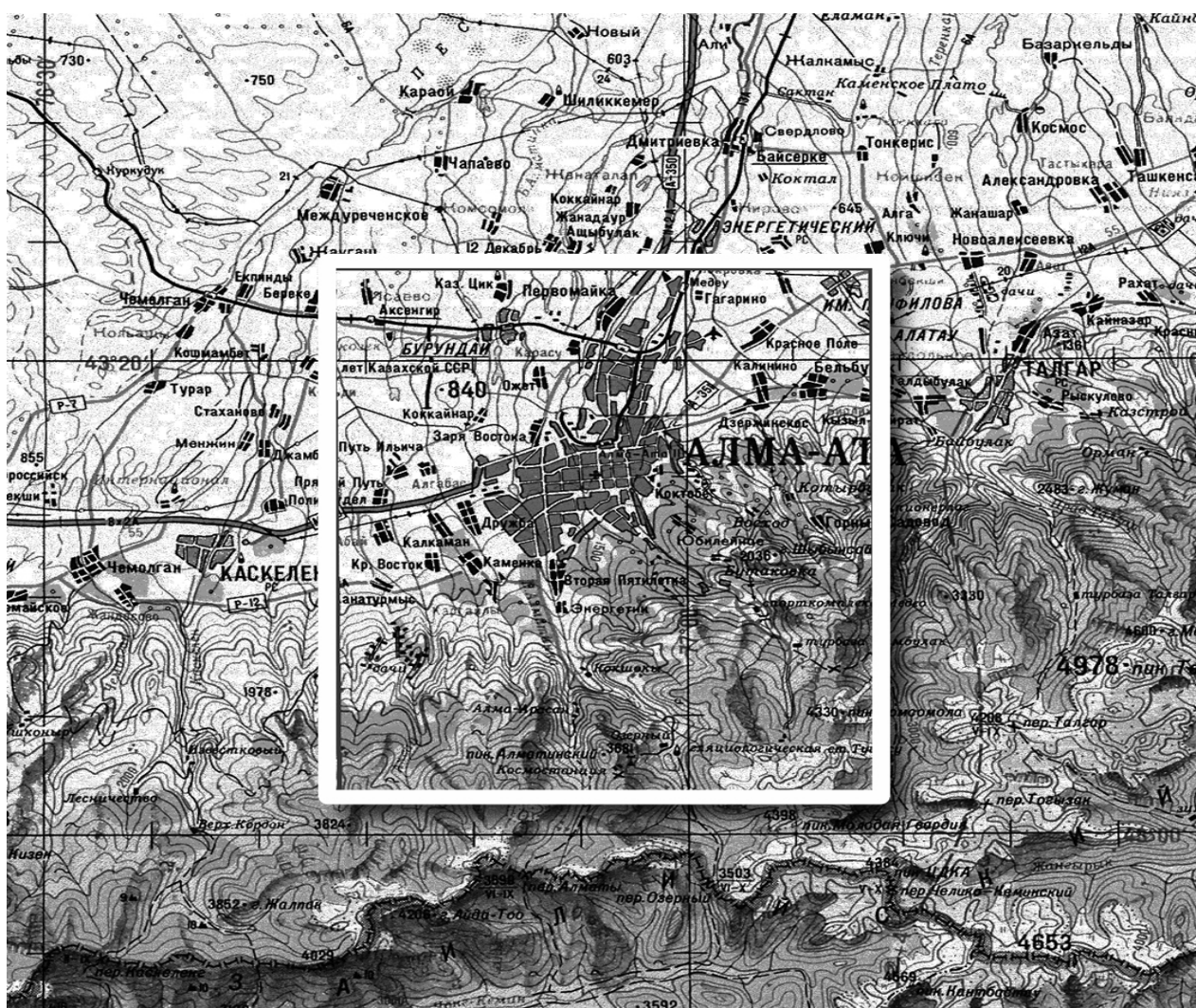


Рисунок 1 – Обзорная карта района исследований

Для построения цифровой модели рельефа использованы радарные снимки радиометра ASTER спутника NASA Terra, распространяемые в формате GeoTIFF в системе координат данных WGS84. Цифровая модель рельефа (ЦМР) представлена в виде совокупности высотных отметок поверхности в узлах регулярной сети разрешением в плане 27х30 м и точностью высотных отметок 22м с 95%-ным доверительным интервалом. С использованием модуля Spatial Analyses программного комплекса ArcGis10 для каждой ячейки сети рассчитывались такие показатели, как угол максимального наклона рельефа в градусной мере, водосборная площадь, а также топографический индекс влажности.

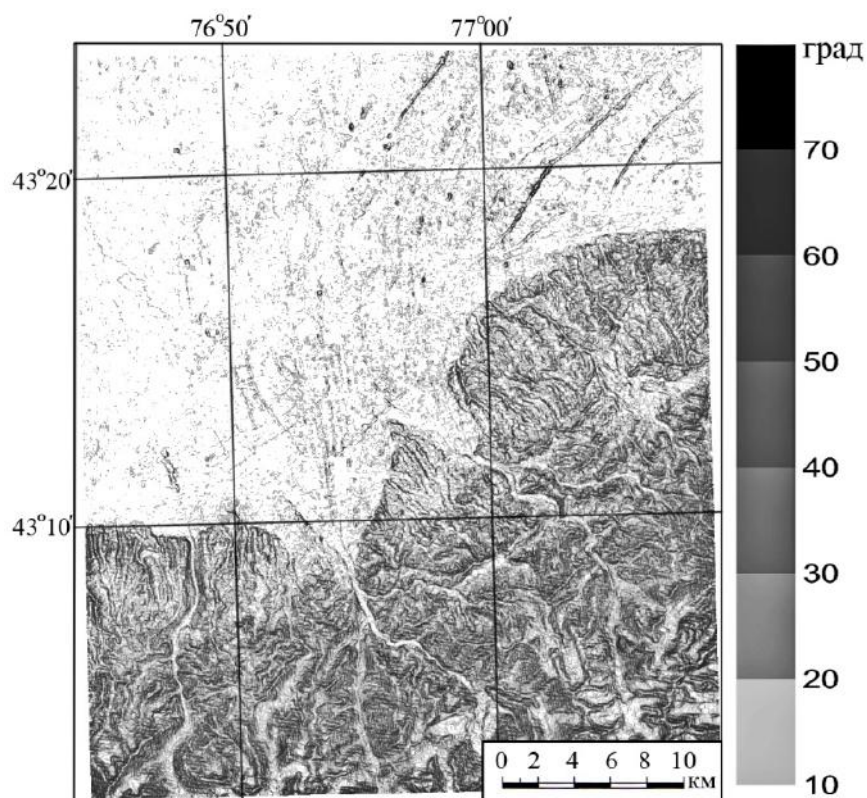


Рисунок 2 – Расчетные значения уклона рельефа в градусах

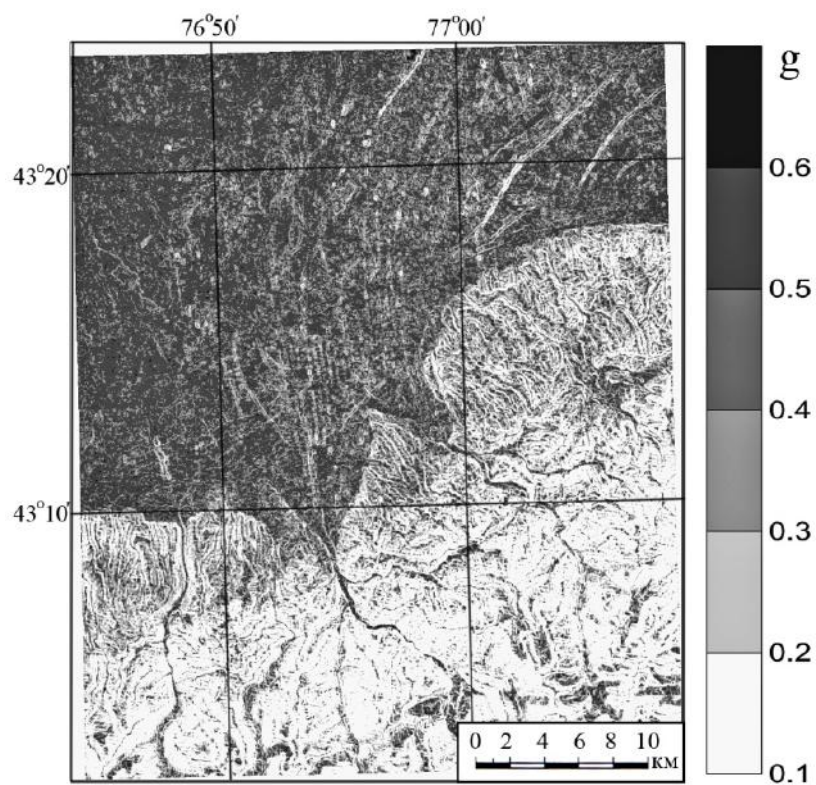


Рисунок 3 – Расчетные значения критического ускорения A_c в долях g

Далее в соответствии с моделью устойчивости склона Ньюмарка вычислялось критическое ускорение A_c в единицах g (ускорение силы тяжести), определяемое формулой (1) согласно [9, 11]:

$$A_c = \frac{\frac{c'}{\cos^2 \alpha} + (y - my_w)z \tan \varphi - yz \tan \alpha}{yz + yz \tan \alpha \tan \varphi}, \quad (1)$$

где c' – удельное сцепление (kN/m^2), y – удельный вес пород (kN/m^3), y_w – удельный вес воды (kN/m^3), m – коэффициент обводненности, z – вертикальная мощность оползня (м), φ – угол внутреннего трения, α – угол склона.

Обычно коэффициент обводненности m определяется как отношение мощности водонасыщенной части пласта к общей мощности оползня [3,9,11]. Данный коэффициент рассчитан нами в программном комплексе SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses) для горных речных долин как усовершенствованный топографический индекс влажности (в %) по формуле:

$$TWI = \ln \left[\frac{A}{\tan(\beta)} \right], \quad (2)$$

где β – уклон между соседними ячейками, A – частная водосборная площадь.

Водосборная площадь A (Catchment area) уравнения (2), как гидрологический параметр необходимый для вычисления TWI, определялась методом одиночного направления стока (SFD – Single Flow Direction), подходящего для ЦМР с малым размером ячейки. Метод SFD применяется для расчетов явных потоков в горных долинах, русел рек, ручьев, где поток течет в одном направлении.

Прочностные свойства пород, расположенных в зоне конусов выноса к предгорной равнине, принятые в расчетах, соответствуют справочным данным для грунтов второй категории (переслаивающиеся суглинки, супеси, песчано-гравийные слои) [5].

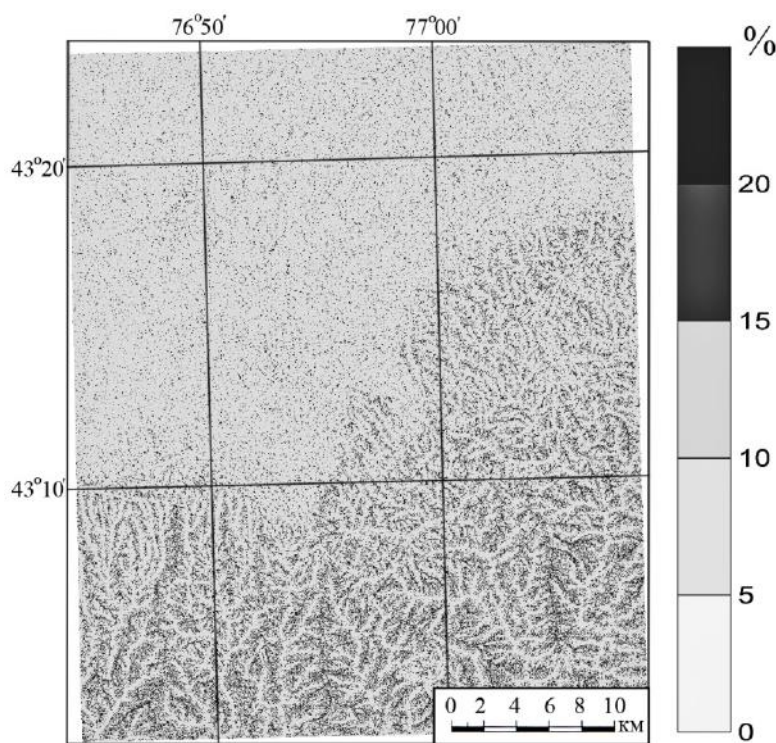


Рисунок 4 – Расчетные значения топографического индекса влажности, %

В качестве критерия сейсмического воздействия на единичную площадку использовалась характеристика степени сотрясения грунта, определяемая как интеграл от квадратов ускорений превышающих некоторый порог по записям сейсмически сильных движений

$$I_a = \frac{\pi}{2g} \int_0^{Td} a(t)^2 dt, \quad (3)$$

где g – ускорение из-за силы тяжести, и Td – продолжительность сигнала выше порога, $a(t)$ – акселерограмма. Величина I_a , получившая название *Интенсивность по Ариасу* (Arias Intensity), является эквивалентом удельной энергии выделившейся в единичном объеме от воздействия

совокупности всех гармонических колебаний вызванных землетрясением [8]. Для территории Киргизстана и Центральной Азии известна сравнительная оценка максимальных пиковых ускорений и Arias Intesity с построением соответствующих карт по записям сильных движений [6]. Анализ зависимости I_a от магнитуды, гипоцентрального расстояния и условий грунтовых колебаний для различных станций по 1426 записям сильных движений выполнен [10].

Регрессионное уравнение с учетом средневзвешенных коэффициентов для каждого члена преобразовано нами к виду:

$$\ln(I_a) = 2.056M_s - 1.475\ln(R) - 10.577 \pm 1.335 \text{ (м/сек)}, \quad (4)$$

где M_s – магнитуда землетрясения, R – гипоцентрального расстояния (км).

Применительно к территории Иле-Алатау магнитуда землетрясения M_s для каждого события вычислялась по Каталогу землетрясений СОМЭ МОН РК в соответствии зависимостей энергетических классов K от магнитуд [4]:

$$K = 1,8 \cdot M_s + 4,18, \text{ если } M_s < 5,3; \quad (5)$$

$$K = 1,5 \cdot M_s + 5,75, \text{ если } M_s \geq 5,3. \quad (6)$$

Численный анализ прогнозных сейсмогенерированных грунтовых смещений различных типов пород получил развитие в работе [13]. Окончательная эмпирическая формула по общемировым данным зависимости смещения Ньюмарка D_n от критического ускорения A_c и Arias intensity I_a для почвенных грунтов, принятая нами в расчетах:

$$\log D_n = 0.802 \log I_a - 10.981 A_c + 7.377 A_c \log I_a + 1.914 \pm 0.274. \quad (7)$$

Оценка устойчивости оползня, как критерий неустойчивости, осуществлялась по превышению расчетного смещения D_n над предельным допустимым в каждой единичной точке раstra. Согласно [7] для природных склонов по фактору стабильности определены критические величины допустимых смещений D_n в см: до 15 см – стабильный склон, от 15 до 30 см – состояние склона неустойчивое, смещение более 30 см – склон неустойчивый.

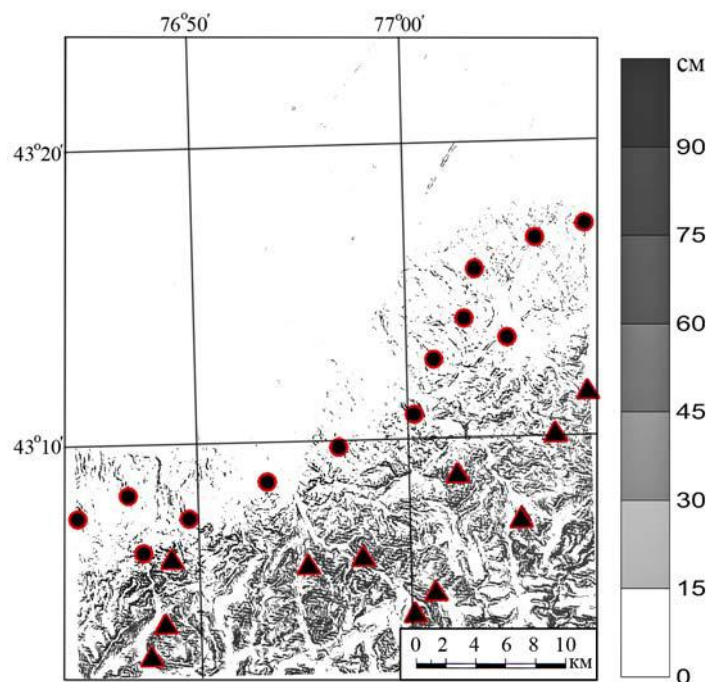


Рис.5. Расчетные значения возможного сейсмического смещения D_n в см.

- сейсмогенные оползни-потоки в лессовых грунтах
- ▲ сейсмогенные оползни-обвалы скальных грунтов

Последующая обработка модельных сейсмогенных смещений включала анализ риска формирования оползня по порогу в 30 см и картографическую визуализацию данных в ArcGIS 10.

Верификация полученных результатов осуществлялась сравнением с известными картами оползнеопасных районов Республики Казахстан [1] и оценками оползневой опасности в Заилийском Алатау [2]. В ходе расчетов установлена приуроченность известных сейсмогенных оползней-потоков в лессовых грунтах к интервалу косейсмических смещений от 10 до 30 см. Сейсмогенные оползни-обвалы скальных грунтов расположены на выделенных участках с деформационным сейсмическим смещением от 30 см и более (до 132 см макс.). Также определены зоны вероятного возникновения оползневых процессов сейсмогенного происхождения, не нашедшие отражения в серии тематических карт до настоящего времени.

В завершение важно отметить детерминистский характер полученных модельных расчетов. Авторам представлялось важным оценить возможности метода количественных оценок риска оползня с использованием GIS технологий. Неопределенности возникающие при формализованном изменении исходных физических параметров среды могут значительно изменять величину ожидаемых сейсмических воздействий. Например, не учитывалась форма очага и тип землетрясений по характеру смещений, анизотропия распространения сейсмических волн по поверхности, детальный состав и свойства горных пород, почвенный и растительный покров и т.п. Устранение этих недостатков в части детализации геолого-тектонического строения района, изучения сейсмических, инженерно-геоморфологических и климатических показателей, используемых в расчетах, в сочетании с полевыми исследованиями однозначно позволяет применять рассмотренный метод.

Разработка методики районирования территории по степени сейсмогенной оползневой опасности на основе современных спутниковых технологий и численного моделирования имеет значительные перспективы и актуальность.

Работа выполнена по программе 055 «Научная и/или научно-техническая деятельность», подпрограмме 101 «Грантовое финансирование научных исследований» по подприоритету: 5.1 «Фундаментальные исследования в области естественных наук» по теме «Разработать методологию оценки опасности сейсмообусловленных геодинамических процессов» в рамках проекта: «Научные основы наземно-космических методов прогноза вторичных сейсмообусловленных процессов».

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Республике Казахстан / Гл. ред. А. Р. Медеу. – Алматы, 2010. – 264 с.
- 2 Благовещенский В.П., Медеу А.Р., Ранова С.У. Районирование территории северного склона Заилийского Алатау по степени оползневой опасности // Вестник КазНУ. Сер. географическая. – 2005. – № 2(21). – С. 87-92.
- 3 Захаров В.С., Симонов Д.А., Коптев А.И. Компьютерное моделирование сейсмогенных оползневых смещений. // Электронное научное издание "ГЕОразрез". – 2009. – Вып. №1-2009 (3).
- 4 Сейсмическая опасность орогенов Казахстана / Курскеев А. К., Белослюдцев О. М., Жданович А. Р., Серазетдинова Б. З., Степанов Б. С., Узбеков Н. Б. – Алматы: Эверо, 2006. – 294 с.
- 5 Справочник проектировщика. Основания, фундаменты и подземные сооружения / Ред. Сорочан Е.А., Трофименкова Ю.Г.. – М.: Стройиздат, 1985. – 479 с.
- 6 Abdrakhmatov K., Havenith H.-B., Delvaux D., Jongmans D., Trefois P. Probabilistic PGA and Arias Intensity maps of Kyrgyzstan (Central Asia) // Journal of Seismology. – 2003. – № 7. – P. 203-220.
- 7 Abramson L.W., Lee T.S., Sharma S., Boyce G.M. Slope stability and stabilization. – John Wiley and Sons, 2002. – 712 p.
- 8 Arias, A., A measure of earthquake intensity // In: Hansen, R.J. (ed.), Seismic Design for Nuclear Powerplants, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1970. – P. 438-483.
- 9 Graham J. Methods of stability analysis // In: Brundsen D., Prior D.B. (Eds.) Slope Instability. – Wiley, New York, 1984. – P. 523-602.
- 10 Hwang H., Lin C.-K., Yen Y.-T. Derivation of attenuation relations of Arias intensity using the Chi-Chi earthquake data // 13th World conference on Earthquake engineering. – Vancouver, Canada. 2004. – Paper №3108.
- 11 Chacon J., Irigaray C., T. Fernandez R., El Hamdouni. Engineering geology maps: landslides and geographical information systems // Bull. Eng. Geol. Environ. – 2006. – Vol. 65. – P. 341-411.
- 12 Newmark N.M. Effects of earthquakes on dams and embankments // Geotechnique. – 1965. – Vol. 15. – P. 139-159.
- 13 Shang-Yu Hsieh, Chyi-Tyi Lee. Empirical estimation of the Newmark displacement from the Arias intensity and critical acceleration // Engineering Geology. – 2011. – Vol. 122. – P. 34-42

REFERENCES

- 1 Atlas prirodnikh i tekhnogennykh opasnostey i riskov chrezvychaynykh situatsiy v Respublike Kazakhstan. Glavnyy redaktor Medeu A.R., Almaty, 2010. 264 s.
- 2 Blagoveshchenskiy V.P., Medeu A.R., Ranova S.U. Rayonirovaniye territorii severnogo sklona Zailiyskogo Alatau po stepeni opolznevoy opasnosti // Vestnik KazNU, ser. geograficheskaya. Almaty, 2005. №2 (21). S.87-92.

- 3 Zakharov V.S., Simonov D.A., Koptev A.I. Komp'yuternoye modelirovaniye seysmogennykh opolznevykh smeshcheniy. // Elektronnoye nauchnoye izdaniye ""GEOrazrez"". 2009, vyp. №1-2009 (3).
- 4 Seysmicheskaya opasnost' orogenov Kazakhstana / Kurskeyev A. K., Beloslyudtsev O. M., Zhdanovich A. R., Serazetdinova B. Z., Stepanov B. S., Uzbekov N. B. Almaty: Evero, 2006. 294 s.
- 5 Spravochnik proyektirovshchika. Osnovaniya, fundamenty i podzemnyye sooruzheniya. Red. Sorochan Ye.A., Trofimenkova YU.G., M. Stroyizdat, 1985. 479s.
- 6 Abdrakhmatov K., H.-B. Havenith, D. Delvaux, D. Jongmans & P. Trefois, Probabilistic PGA and Arias Intensity maps of Kyrgyzstan (Central Asia) // Journal of Seismology 2003. #7: p.203–220.
- 7 Abramson L.W., Lee T.S., Sharma S., Boyce G.M. Slope stability and stabilization. John Wiley and Sons, 2002. 712 p.
- 8 Arias, A., A measure of earthquake intensity. In: Hansen, R.J. (ed.), Seismic Design for Nuclear Powerplants, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1970, pp. 438–483.
- 9 Graham J. Methods of stability analysis. In: Brundsen D., Prior D.B. (Eds.) Slope Instability. Wiley, New York, 1984. P. 523–602.
- 10 Hwang H., Lin C-K., Yen Y-T. Derivation of attenuation relations of Arias intensity using the Chi-Chi earthquake data //13th World conference on Earthquake engineering. Vancouver, Canada. 2004. Paper №3108.
- 11 Chacon J., Irigaray C., T. Fernandez R., El Hamdouni. Engineering geology maps: landslides and geographical information systems // Bull. Eng. Geol. Environ. 2006. vol.65. p.341–411.
- 12 Newmark N.M. Effects of earthquakes on dams and embankments. //Geotechnique. 1965. Vol.15, P.139–159.
- 13 Shang-Yu Hsieh, Chyi-Tyi Lee. Empirical estimation of the Newmark displacement from the Arias intensity and critical acceleration //Engineering Geology. 2011. Vol.122. p.34-42

Резюме

Ж. Ш. Жантаев, Н. Г. Бреусов, А. В. Вилыев, А. П. Стихарный, С. М. Нұрақынов

(«ҰҒЗТО» АҚ «Ионосфера институты» ЕЖШС, Алматы, Қазақстан Республикасы)

ЖЕР СІЛКІНІСІНЕН ТУЫНДАҒАН СЫРҒЫМАЛАРДЫ GIS-ТІ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ ҮЛГІЛЕУ

Жұмыста жер сілкінісінің белсенділігінен пайда болған сырғымарды анықтауда ГАЖ технологияларын қолданумен қатар, сырғымалардың пайда болу параметрлерін есептеуде Ньюмарктың әдісі қарастырылған. NASA Terra жер серігінің радиометрлік ғарыштық суреттер (ASTER) негізінде құрастырылған жер бетінің сандық үлгісі, аумақтың сейсмикалық мағлұматтар және тау-жыныстарының геологиялық инженерлік параметрлері бастапқы мәліметтері негізінде қолданған. Жер сілкінісінен пайда болатын жылжулардың кеңістікте таралу және тұрақтылықтың өлшемі негізінде жер сілкіну әсерінен туындайтын сырғымаларды бағалау Іле Алатауының солтүстік баурайы мысалында жүргізілген. Алынатын шамалық үлгінің дәлдігін анықтайтын параметрлерге нақтылаудың қажеттілігі туралы қорытынды жасалады.

Тірек сөздер: сейсмикалық, сейсмикалық жылжулар, сырғыма, жер бетінің сандық үлгісі, Ньюмарктың үлгісі, сырғымалардың қауіптілігін картографиялау.

Summary

Zh. Sh. Zhantayev, N. G. Breusov, A. V. Vilayev, A. P. Stikharniy, S. M. Nurakynov

(Institute of Ionosphere, National Center for Space Research and Technology, Almaty, Republic of Kazakhstan)

MODELING OF SEISMIC LANDSLIDES USING GIS

In this paper the method of allocation of landslide areas caused by seismic activity. Apply GIS technology and the calculations of the critical parameters landslide Newmark method. Used: digital elevation model from the images of radiometer ASTER satellite NASA Terra, the parameters of the seismic regime of the territory, geotechnical parameters of soils. On the example of the northern slope of the ridge Ile Alatau, the distribution of seismic displacements. According to the criterion of stability allocated plots of seismogenic landslides. The conclusion of the need to detail the parameters that determine the accuracy of the estimated model.

Keywords: seismic, seismic shift, a landslide, a digital elevation model, Newmark method, landslide hazard mapping.

Поступила 2.09.2013г.