

УДК 528.481, 528.92

DOI: 10.31395/2310-0478-2020-2-130-133



Р. М. Рудий,
 доктор технічних наук,
 професор, професор кафедри геодезії,
 картографії та кадастру,
 Уманський національний університет садівництва,
 м. Умань, Україна.



Ю. О. Кисельов,
 доктор географічних наук, професор,
 завідувач кафедри геодезії, картографії та кадастру,
 Уманський національний університет садівництва,
 м. Умань, Україна.



О. Я. Кравець,
 кандидат технічних наук, доцент,
 доцент кафедри геодезії та землеустрою
 Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

ДО АНАЛІЗУ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ НА ТЕРИТОРІЇ НАЦІОНАЛЬНОГО ДЕНДРОЛОГІЧНОГО ПАРКУ «СОФІЇВКА» З ВИКОРИСТАННЯМ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ

На підставі інструментальних досліджень рельєфу Національного дендропарку «Софіївка» НАН України проаналізовано можливості прояву та інтенсивність зсувних процесів. Відзначено, що геодезичні спостереження на зсувонебезпечних ділянках передбачають створення геодезичної основи, закріплення її спеціальними марками та виконання періодичних повторних вимірювань координат і висот геодезичних знаків, визначення меж і об'ємів зсувних мас, визначення величин сповзання земляних мас у плані й за висотою, швидкості та напрямку зсуву.

Спостереження за зсувами проводилося в кілька циклів відповідно до швидкості перебігу зсувного явища. За матеріалами топографічного знімання зсувонебезпечного схилу, яке виконувалося в ході першого циклу спостережень, за допомогою пакету програм Surfer створено цифрову модель рельєфу. За результатами спостережень отримано картографічні матеріали, що в подальшому можуть використовуватися для розроблення відповідних протизсувних заходів. Відзначено, що застосування цифрового моделювання зсувних процесів дозволяє вдосконалити визначення часопросторових характеристик зсувів. Наголошено, що за допомогою цифрової моделі рельєфу можна одержати максимальну інформацію для комплексного розв'язання геодинамічних задач на зсувах, виділити зсувні осередки, встановити лінії найбільших рухів зсувного тіла, вибрати типи захисних заходів, уточнити зони можливого розвитку сповзання схилу, оцінити ефективність протизсувних заходів. Зауважено, що геологічні дослідження зсувонебезпечних ділянок дозволяють визначити поверхню ковзання, що, у свою чергу, дає матеріал для складання карт ізопотужностей зсувного тіла в метрах, швидкості зсуву в міліметрах за місяць та напрямів зсувів. Наголошено, що модель зсуву може бути доповнена гідрометеорологічними, гідрогеологічними та геофізичними даними. Підкреслено, що, оскільки перезволоження ґрунту внаслідок опадів призводить до збільшення ваги зсувного тіла, вплив цього чинника треба обов'язково враховувати. Оскільки згадані вище карти складаються за кожним циклом спостережень, то, порівнюючи дані з різних циклів, можна проаналізувати динаміку зсувного процесу, розробити прогноз його розвитку та запроєкувати відповідні протизсувні заходи. В разі, якщо здійснені заходи не дають змогу зменшити швидкість зсуву, вони визнаються неефективними, що зумовлює необхідність розроблення інших заходів. Навпаки, припинення зсуву підтверджує правильність управлінських рішень щодо організації та проведення протизсувних інженерних робіт.

Ключові слова: зсувні процеси, зсувне тіло, топографічне знімання, цифрова модель рельєфу, протизсувні заходи.

Rudyi R.M.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine.

Kyselov Yu.O.,

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine.

Kravets O.I.,

PhD of Technical Sciences, Assistant Professor, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine.

ON THE ANALYSIS OF LANDSLIDE PROCESSES ON THE TERRITORY OF THE NATIONAL DENDROLOGICAL PARK "SOFIIVKA" WITH APPLICATION OF GIS-TECHNOLOGIES

The possibilities of manifestation and intensity of landslide processes on the basis of instrumental researches of the relief of the National Arboretum "Sofiyivka" of the National Academy of Sciences of Ukraine are analyzed. It is noted that geodetic observations and measurements in the particular landslide areas was creation of a geodetic network, marking on

the ground with special solid monuments and periodic re-measurements their 3-D coordinates, determining the boundaries and volumes of landslides, prediction landslides speed and direction of shift.

The observation of landslides was carried out in several cycles according to the speed of the landslide phenomenon. Based on the materials of the topographic survey of the landslide slope, which was performed during the first cycle of observations, a digital terrain model was created on Surfer software package. The results of observations, cartographic materials were obtained and can be further used to develop appropriate anti-landslide measures.

It is noted that the application of digital modeling of landslide processes allows to improve the definition of spatiotemporal characteristics of landslides. Also was emphasized that digital terrain modeling makes possible to obtain maximum information for complex solution of geodynamic problems on landslides. Such as, identification of landslides, establishing direction lines for the largest landslide movements, to choose types of protective measures and specify correspondent zones of possible landslides development.

It is noted that geological studies of landslide areas allow to determine the sliding area and provides material for mapping the moving capacity of the landslide body in meters, moving rate in millimeters per month and slide directions. It is emphasized that the landslide model can be supplemented by hydrometeorological, hydrogeological and geophysical data. Also the overwetting of the soil due to precipitation leads to an increase in the weight of the landslide and influence of this factor must be taken into account.

Since the above maps are created for each cycle of observations, comparing data from different cycles, we can analyze the dynamics of the landslide process, forecast of landslides development and design appropriate type of measures. If the implemented measures do not allow to reduce the slide rate, they are considered ineffective and we have to the develop other measures and procedures. On the contrary, the termination of the landslide process confirms the correctness of management decisions regarding the organization and conduct of landslide engineering works.

Key words: landslide processes, landslide body, topographic survey, digital relief model, anti-landslide measures.

Вступ. Питання кількісного вивчення динаміки зсувних процесів є вирішальними при розробці методів захисту від зсувів. Проведення спостережень на зсувних схилах забезпечує розв'язання завдання вивчення механізму та динаміки зсувного процесу. За результатами спостережень одержують інформацію про схил у вигляді топографічних, геоморфологічних та інших планів і карт. З часом вони поновлюються та коректуються з врахуванням змін на схилах, що відбулися. Геодинамічні спостереження дозволяють одержати геометричні параметри зміщень на зсувних схилах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питанню вивчення зсувів приділяють увагу багато авторів [1-4]. Відзначається велика небезпека, пов'язана зі зсувними процесами, описується методика спостереження за зсувами, методи прогнозування зсувів, розглядаються результати аерокосмічного моніторингу зсувних процесів [4; 6].

Причинами виникнення зсувів є перезволоження схилів і збільшення навантаження на схил внаслідок забудови схилу, руху транспорту та інше. Максимум зсувів відбувається в період сніготанення та сильних опадів. Велике значення мають також рельєф та його геоморфологічні характеристики [5].

Зміна напруженого стану ґрунту відбувається внаслідок збільшення навантажень на схил під час забудови, збільшення ваги від зволоження, порушення цілісності схилу при підмиві поверхневими водами, підрізання виїмками для будов і споруд, зокрема для доріг [5].

Властивості ґрунтів змінюються під час вивітрювання, зволоження, під впливом ударних і вібраційних навантажень, землетрусів. Найчастіше порушення

стійкості схилів відбувається внаслідок замочування глиняних ґрунтів водою, через що знижується їх опір зсуву [8; 9].

Основними методами боротьби із зсувами є відведення вологи шляхом дренажування, влаштування нагриних каналів, зменшення навантаження на схил, закріплення схилів інженерними спорудами, обмеження швидкості руху транспорту на схилах та заборона їх забудови.

Геодезичні дослідження зсувів передбачають створення геодезичної основи на зсувонебезпечних ділянках, закріплення геодезичної основи спеціальними марками та періодичні повторні вимірювання координат і висот геодезичних знаків, визначення меж та об'ємів зсувних мас, визначення величин сповзання земляних мас в плані та по висоті, швидкість та напрям зсуву [1; 3].

Вимірювання на зсувних пунктах здійснюють сучасними електронними геодезичними приладами, ГНСС-приймачами з точністю 1-3 мм. За результатами спостережень складають картографічні матеріали, за

$$\bar{n}(\bar{r} - \bar{r}_0) = 0.$$

якими розробляють відповідні протизсувні заходи [7].

З метою визначення геологічних характеристик зсувних мас, в місцях закладання геодезичних марок бурять свердловини з метою визначення глибини поверхні ковзання, вологості та інших характеристик ґрунтів.

Метою статті є вдосконалення визначення просторово-часових характеристик зсувів геоінформаційними методами.

Методика дослідження. Тривимірна модель рельєфу візуалізує рельєф, дає наочне об'єктивне

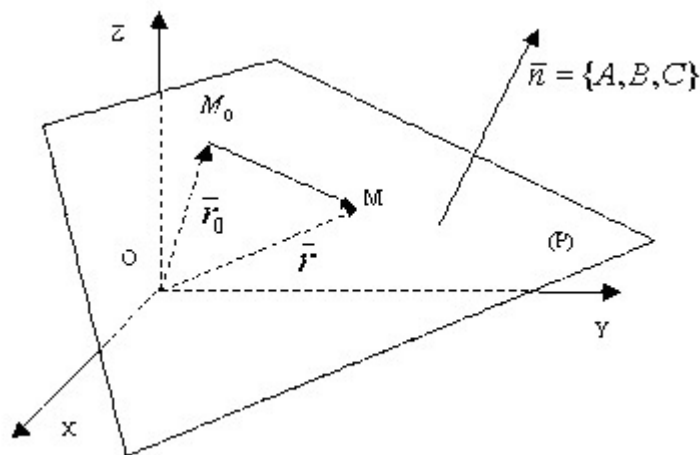


Рис. 1 Загальні параметри зсуву

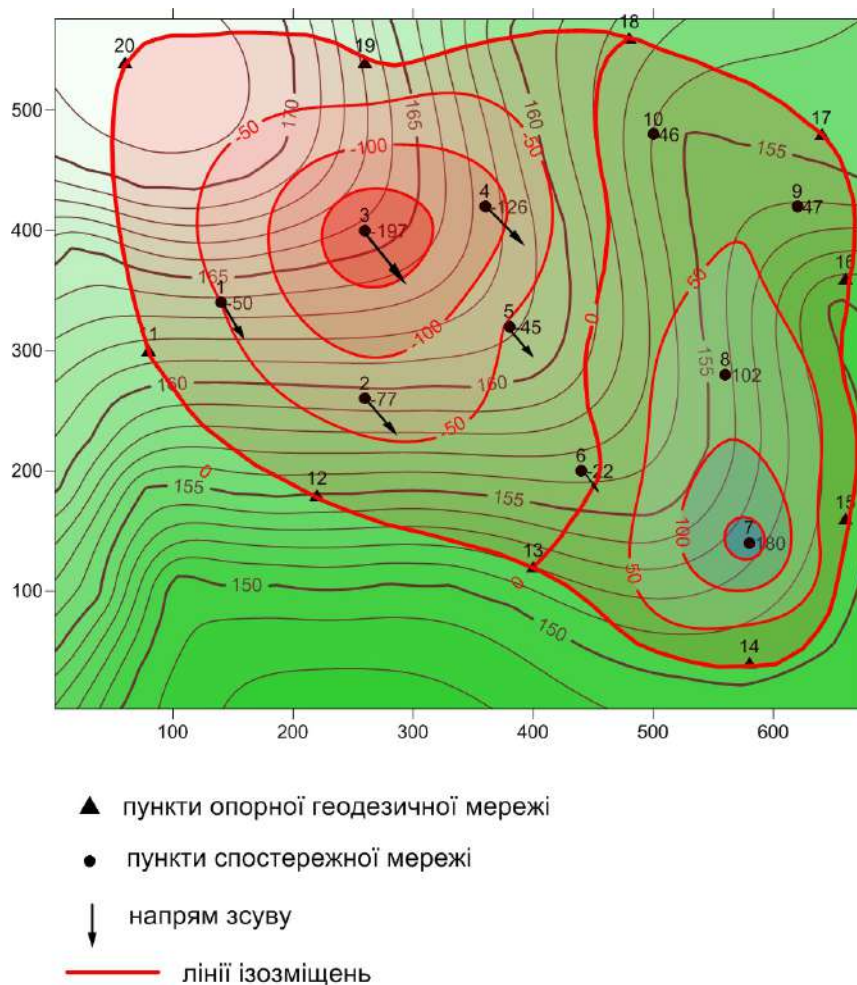


Рис. 2 Карта ізозміщень на зсувному схилі (мм)

його зображення. На ній добре видно основні форми рельєфу, напрямки хребтів, долин. Порівняно з картою інформативність зображення рельєфу значно вища. Крім цього 3D-модель дозволяє отримати різні кількісні морфометричні характеристики рельєфу.

Карті крутизни та експозиції схилів наочно демонструють можливості цифрових моделей рельєфу та їх похідних як об'єктивних джерел інформації про рельєф, необхідної для вирішення геоморфологічних, гідрогеологічних завдань.

Цифрова модель рельєфу надає багатосторонню кількісну характеристику рельєфу, а саме розподіл території за величиною кутів нахилів схилів, експозиції схилів, визначення об'ємів гірських порід, значення середніх ухилів для певної території.

З допомогою цифрової моделі рельєфу можна одержати максимальну інформацію для комплексного розв'язання геодинамічних задач на зсувах, виділити зсувні осередки, встановити лінії найбільших рухів зсувного тіла, вибрати типи захисних заходів, уточнити зони можливого розвитку сповзання схилу, оцінити ефективність протизсувних заходів.

Основні результати дослідження. За даними топографічного знімання зсувонебезпечного схилу з допомогою пакету програм Surfer за результатами першого циклу спостережень створено цифрову модель рельєфу, зображення якої наведено на рис. 1. Крутизна схилу є одним з основних факторів зсувоутворення. Тому детальний аналіз крутизни по всій площі зсувного схилу має наукове та практичне значення.

Отже, питання вивчення зсувів та прогнозування їх динаміки є вельми актуальними, оскільки зсуви ґрунту призводять до величезних матеріальних втрат та можуть створювати небезпеку життю людей. Прикладів катастрофічних зсувів можна навести багато, і їх кількість

з часом зростає. Ця проблема є надзвичайно актуальною не тільки для нашої держави, але і для світу загалом [7-9].

Геодезичні дослідження зсувів передбачають створення за межею зсуву опорної геодезичної мережі. Координати і висоти пунктів опорної мережі визначаються високоточними електронними теодолітами і GPS-приладами з точністю 1-3 мм. Стабільність положення цих пунктів, які на рис.1 показані трикутниками, постійно контролюють. На тілі зсуву створюють мережу спостережних пунктів, які на рисунку 1 показані кружечками.

Спостереження виконують по циклах. Період між циклами може тривати від кількох днів до кількох місяців, залежно від інтенсивності зсуву. За даними спостережень першого циклу складають цифрову модель схилу. За даними зміщень геодезичних марок між першим і другим циклами визначають їх ізозміщення по висоті в мм. За ізозміщенням будують композитну поверхню у вигляді ізоліній, яка являє собою рельєф змін висот на поверхні зсуву. Ця поверхня дозволяє визначати критичні переміщення на зсуві. На рисунку вона показана червоними ізолініями. Також видно, що ґрунт з верхньої частини схилу (ізозміщення від'ємні) переміщується в нижню частину схилу (ізозміщення додатні).

Такі карти складають по кожному циклу спостережень по висоті та в плані. Вони дозволяють визначити швидкість і напрям зсуву, скласти графіки осідань, визначити об'єми тіл зсуву. Іноді для визначення геологічних характеристик зсувних мас, в місцях закладання геодезичних марок бурять свердловини для вимірювання глибини залягання поверхні ковзання, вологості та інших характеристик ґрунтів.

Вимірювання на зсувних пунктах здійснювались сучасними електронними геодезичними приладами з точністю 1-3 мм. За результатами спостережень були

отримані картографічні матеріали, які в подальшому використовуються для розроблення відповідних протизсувних заходів.

Застосування цифрового моделювання зсувних процесів дозволяє вдосконалити визначення просторово-часових характеристик зсувів.

З допомогою цифрової моделі рельєфу можна одержати максимальну інформацію для комплексного розв'язання геодинамічних задач на зсувах, виділити зсувні осередки, встановити лінії найбільших рухів зсувного тіла, вибрати типи захисних заходів, уточнити зони можливого розвитку сповзання схилу, оцінити ефективність протизсувних заходів.

За даними топографічного знімання зсувонебезпечного схилу з допомогою пакету програм Surfer за результатами першого циклу спостережень було створено цифрову модель рельєфу та карту крутизни цього схилу.

За даними повторних вимірювань визначають зміщення марок в плані та по висоті. Періодичність повторних вимірювань залежить від швидкості зсуву, розміру зсувного тіла та може становити від кількох днів до тижнів або місяців.

В певному наближенні зсувне тіло можна подати як геометричну фігуру певної товщини, обмежену двома площинами, що проходять через відповідні ізолінії. Верхня площина подається координатами трьох точок, розмішених на її краях, а нижня, віддалена від неї на товщину тіла, що сповзає. Параметри цієї фігури та просторове розміщення характеризує рис. 1. Оскільки лінійним рівнянням площини щодо змінних координат x , y , z буде рівняння виду $Ax + By + Cz + D = 0$, де хоча б один з коефіцієнтів A , B , C відмінний від нуля, то вибравши на площині (P) будь-яку точку $M_0(x_0, y_0, z_0)$, в якій побудуємо ненульовий вектор \vec{n} , перпендикулярний площині (P) . Для того, щоб довільна точка $M(x, y, z)$ простору належала площині (P) , необхідно і достатньо, щоб

Відзначимо, що вектором \vec{n} - нормальним вектором площини може бути взятий будь-який ненульовий вектор, перпендикулярний площині і його кути з координатними осями будуть характеризувати напрямки зсуву тіла, обмеженого двома вказаними площинами та ізолініями [3].

На рис. 2 наведено карту ізозміщень ґрунту по висоті в мм. На карті позначено величину та напрям зміщення кожної марки. По марках, на яких зміщення відсутні, проходить межа зсуву. На рисунку показано, що ґрунт з верхньої частини зсуву переміщується в нижню.

Наприклад, якщо в результаті виконаних протизсувних заходів (підпірні стінки, дренаж) швидкість зсуву не зменшилась, це вказує на їх неефективність та необхідність розроблення інших заходів. І навпаки, припинення зсуву підтверджує правильність інженерних рішень. Період між циклами спостережень при цьому збільшується до кількох місяців.

Під час збільшення швидкості зсуву період між циклами спостережень може зменшуватись до кількох днів, що означає безперервність вимірювань. При цьому оброблення результатів повинно виконуватись оперативно з використанням сучасних технологій та засобів.

Висновки. Отже, запропоновано методику створення просторово-часової моделі зсувного процесу на основі цифрової моделі рельєфу. Розроблені карти крутизни схилу, ізозміщень на зсувному схилі, ізопотужностей зсувного тіла, швидкості зсуву можуть бути основою для створення інших геодинамічних карт: сумішених карт горизонтальних та вертикальних ізозміщень, карт прискорень ізозміщень та ін. Разом вони формують банк даних інформації, що дозволяє здійснювати ефективний моніторинг зсувних процесів.

Застосування геоінформаційних технологій для створення геодинамічних карт дозволяє підвищити точність та оперативність одержання та аналізу даних, які характеризують зсувний процес, а також більш якісно та своєчасно прогнозувати розвиток зсувів та розробляти протизсувні заходи [2].

Література

1. Кравець О. Я. Використання геоінформаційних технологій для дослідження зсувних процесів. Науковий вісник НЛТУ України, 2020. 30(2), 113-117. DOI: <https://doi.org/10.36930/40300220>
2. Кузнецов А. И. Разработка метода определения поверхности скольжения оползня по данным геодезического мониторинга: Автореф. дис. ... кандидата техн. наук: 25.00.32 Москва, 2013. 24 с.
3. Левчук Г. П., Новак В. Е., Лебедев Н. Н. Прикладная геодезия. Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений Москва: Недра, 1983 400 с.
4. Ліщенко Л. П., Пазинич Н. В., Терemenko О. М. Дослідження зсувних процесів на території м. Києва в режимі дистанційного моніторингу. Український журнал дистанційного зондування Землі, №2. 2014. С. 29-34. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ukjdz_2014_2_6.
5. Рудий Р. М., Керкер В. Б., Ткачук Г. І. Визначення експозиції земельних ділянок для врахування їхніх екологічних характеристик та вартості. Геодезія, картографія і аерофотознімання, вип. 75. 2011. С. 150-154.
6. Терemenko О. М. Дослідження зон геодинамічної напруги для прогнозування і картографування геолого-екологічних процесів за матеріалами космічних зйомок. Проблеми розробки і впровадження сучасних інформаційних технологій / Зб. наук. праць. К.-Х.-Крим, 2004. С. 154-157.
7. Corominas J., Westen C. van, Frattini P., Cascini L., Malet J.-P., Fotopoulou S., Catani F., Eeckhaut M. Van Den, Mavrouli O., Agliardi F., Pitilakis K., Winter M. G., Pastor M., Ferlisi S., Tofani V., Hervás J. & Smith J. T. (2014). Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 73, 209-263. <https://doi.org/10.1007/s10064-013-0538-8>
8. Naqa A. E., Abdelghafoor M. Application of SINMAP Terrain Stability Model Along Amman-Jerash-Irbid Highway, North Jordan. EJGE, v. 11. 2006. P. 2-19.
9. Park D. W., Nikhil N. V., Lee S. R. Landslide and debris flow susceptibility zonation using TRIGRS for the 2011 Seoul landslide event. Nat. Hazards Earth Syst. Sci, v. 13. 2013. P. 2833-2849. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-2833-2013>

References

1. Kravets O. Ya. (2020). The use of geoinformation technologies for the study of landslide processes. Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine, 2020. 30 (2), p. 113-117. DOI: <https://doi.org/10.36930/40300220> (in Ukrainian).
2. Kuznetsov A.I. (2013). Development of a method for determining the landslide slip surface according to geodetic monitoring: Abstract. dis. ... Candidate Tech. Sciences: 25.00.32 Moscow, 2013. 24 p. (in Russian).
3. Levchuk G.P., Novak V.E., Lebedev N.N. (1983). Applied geodesy. Geodetic works at researches and construction of engineering constructions Moscow: Nedra, 1983, 400 p. (in Russian).
4. Lishchenko L.P., Pazynych N.V., Teremenko O.M. (2014). Research of landslide processes on the territory of Kyiv in the mode of remote monitoring. Ukrainian Journal of Remote Sensing of the Earth, №2. 2014. P. 29-34. Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ukjdz_2014_2_6. (in Ukrainian).
5. Rudyi R.M., Kerker V.B., Tkachuk G.I. (2011). Determination of land exposure to take into account their environmental characteristics and value. Geodesy, cartography and aerial photography, vol. 75. 2011. P. 150-154 (in Ukrainian).
6. Teremenko O.M. (2004). Research of geodynamic stress zones for forecasting and mapping of geological and ecological processes based on space survey materials. Problems of development and implementation of modern information technologies / Coll. Of Science Works. K. - H. - Crimea, 2004. P. 154-157 (in Ukrainian).
7. Corominas J., Westen C. van, Frattini P., Cascini L., Malet J.-P., Fotopoulou S., Catani F., Eeckhaut M. Van Den, Mavrouli O., Agliardi F., Pitilakis K., Winter M. G., Pastor M., Ferlisi S., Tofani V., Hervás J. & Smith J. T. (2014). Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 73, 209-263. <https://doi.org/10.1007/s10064-013-0538-8>
8. Naqa A. E., Abdelghafoor M. (2006). Application of SINMAP Terrain Stability Model Along Amman-Jerash-Irbid Highway, North Jordan. EJGE, v. 11. 2006. P. 2-19.
9. Park D. W., Nikhil N. V., Lee S. R. (2013). Landslide and debris flow susceptibility zonation using TRIGRS for the 2011 Seoul landslide event. Nat. Hazards Earth Syst. Sci, v. 13. 2013. P. 2833-2849. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-2833-2013>