

3. Рябинин, И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем [Текст] / И. А. Рябинин. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2007. – 276 с.
4. Klein, J. H. An approach to technical risk assessment [Text] / J. H. Klein, R. B. Cork // International Journal of Project Management. – 1998. – 16 (6). – P. 345-351.
5. Rausand, M. System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications, Second Edition [Text] / M. Rausand, A. Hoyland. – Wiley-Interscience, 2003. – 351 p.
6. Coviello, V. T. Risk Assessment Methods. Approaches for Assessing Health and Environmental Risks [Text] / V. T. Coviello, M. W. Merkhofer. – Plenum Press, New York and London, 1993. – 319 p.
7. O'Neill, John Technical Risk Assessment: a Practitioner's Guide [Text] / John O'Neill, Nitin Thakur, Alan Duus. – Australia, 2007. – 29 p.
8. Henley Ernest, J. Reliability engineering and risk assessment. [Text] / J. Ernest Henley, Hiromitsu Kumamoto. – New York : IEEE Press, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. - 1992. – 568 p.
9. Kertzner, P. Process Control System Security Technical Risk Assessment Methodology & Technical Implementation [Text] / P. Kertzner, J. Watters, D. Bodeau // Research Report. – 2008. – № 13. – 47 p.
10. Birnbraun, Z. W. On the importance of different components in a multicomponent system. Multivariate Analyses [Text] / Z. W. Birnbraun. – New York: Academic Press, 1969. – P. 581– 592.

В статті розглядається один із варіантів прогнозування зсувної небезпеки за значеннями коефіцієнта стійкості схилу. Продемонстровано на прикладі принцип дії створеного розрахункового модуля по оцінці стійкості схилів для геоінформаційної системи MarInfo. Даний модуль дозволяє визначати коефіцієнт стійкості зсувних схилів, що складені однорідними породами та мають круглоциліндричну форму поверхні ковзання

Ключові слова: зсувні процеси, коефіцієнт стійкості схилу, поверхня ковзання, геоінформаційні системи

В статье рассматривается один из вариантов прогнозирования оползневой опасности по значению коэффициента устойчивости склона. Продемонстрировано на примере принцип действия созданного расчетного модуля по оценке устойчивости склонов для геоинформационной системы MarInfo. Данный модуль позволяет определять коэффициент устойчивости оползневых склонов, которые составлены однородными породами и имеют круглоцилиндрическую форму поверхности скольжения

Ключевые слова: оползневые процессы, коэффициент устойчивости склона, поверхность скольжения, геоинформационные системы

УДК 624.131.537:910:004.65

ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ РОЗРАХУНКОВОГО МОДУЛЯ ПО ОЦІНЦІ СТІЙКОСТІ ЗСУВНИХ СХИЛІВ ДЛЯ MARINFO

І. В. Крив'юк

Кандидат геологічних наук, доцент
Кафедра геотехногенної безпеки
та геоінформатики
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ,
Україна, 76019
E-mail: i_krivjyk@mail.ru

1. Вступ

Небезпека зсувних процесів проявляється як в їхніх катастрофічних наслідках, так і в широкому розповсюдженні. Зсуви зустрічаються на природних і штучних схилах, у руслах рік, на дамбах, бортах кар'єрів і водосховищ, на шляхах автомобільних і залізничних доріг, на трасах магістральних нафто- і газопроводів, і, що найнебезпечніше, на забудованих, освоєних та густо заселених людьми територіях, що

призводить не тільки до значних фінансових збитків, а і до багатьох випадків з численними людськими жертвами. Згідно з [1], в Україні станом на 2013 р. зареєстровано приблизно 30 тисяч зсувів. Тому їх дослідження з метод подальшого прогнозування є актуальною проблемою сьогодення.

На сьогоднішній день по суті єдиним кількісним показником, що визначає особливості розвитку зсувного процесу, є коефіцієнт стійкості схилу η . Даний коефіцієнт розраховується як відношення утримую-

чих та зсуваючих сил, що діють уздовж існуючої чи наміченої поверхні ковзання.

Згідно з [2], розрахунковий коефіцієнт стійкості повинен задовольняти умову:

$$\eta \geq K_{\text{зап}}, \quad (1)$$

де $K_{\text{зап}}$ – коефіцієнт запасу.

Мінімальне значення $K_{\text{зап}}$ при основних сполученнях навантажень для зсувних та зсувонебезпечних схилів для першого ступеня відповідальності повинно дорівнювати 1.35 та 1.25 для зсувних ділянок, для другого ступеня відповідальності 1.3 та 1.2 відповідно.

2. Аналіз літературних джерел та постановка задачі

У практиці інженерно-геологічних досліджень для визначення коефіцієнта стійкості схилу у більшості випадків використовують розрахункові методи, які прийнято називати методами розрахунку стійкості схилів. Найбільш відомими серед них є такі: метод круглоциліндричної поверхні, метод Ю. І. Соловйова; метод F_r (наближений метод М. М. Маслова), метод Р. Р. Чугаєва; метод горизонтальних сил М. М. Маслова-Берера; метод дотичних сил; аналітичний метод Г. М. Шахунянца; методи Фелленіуса, Бішопа, Спенсера та ін. [3 – 7].

Більшість методів розрахунку стійкості схилів засновані на застосуванні теорії граничної рівноваги однорідного ізотропного середовища, що розглядає граничний напружений стан ґрунтового масиву. Незважаючи на наявність у літературі деякої критики даних методів, щодо їх математичної та фізичної строгості, а також на рахунок ряду умовних припущень, що приймаються для розрахункової моделі [8], вони досить ефективно використовуються для розробки простих інженерних способів оцінки стійкості схилів. У праці [6], на основі експериментальних досліджень встановлено, що найбільш точними є методи М. М. Маслова і Г. М. Шахунянца, а також метод круглоциліндричної поверхні (як правило в однорідних ґрунтах для асеквентних зсувів).

На практиці ж використання розрахункових методів часто ускладнюється встановленням гіпотетичної ймовірної поверхні ковзання. Для цього проводять спеціалізовані інженерно-геологічні дослідження, що включають буріння, відбір проб та їх подальший лабораторний аналіз з метою встановлення зон ослаблення, в яких може проходити поверхня ковзання, а також визначення параметрів, що відповідають за опір

порід зсуву. Такий підхід на рівні масових першочергових досліджень зсувних процесів є малоефективним, тому що, по-перше, потребує як значних затрат коштів, так і часу, по-друге, не завжди існує можливість доставити на зсувонебезпечну ділянку необхідну техніку, по-третє, існують певні ускладнення з встановленням гіпотетичної ймовірної поверхні ковзання.

Існує інший підхід до визначення поверхні ковзання, згідно з яким на розрахунковій схемі схилу намічають декілька поверхонь ковзання та розраховують коефіцієнт стійкості по кожній із них. За найбільш ймовірну поверхню ковзання вибирають ту, для якої коефіцієнт стійкості виявився найменшим [5].

У роботі [9], обґрунтована доцільність комплексного підходу до оцінки зсувної небезпеки, що передбачає поєднання досліджень зсувних ділянок геологічними, геофізичними та інженерно-геологічними методами з подальшим розрахунком стійкості схилу та прогнозом можливості виникнення чи активізації зсувів на ймовірнісному та кількісному рівнях.

Геофізичні методи дослідження дають цінну та незамінну інформацію для подальшого розрахунку стійкості схилу – оконтурення зсувного тіла в просторі, та, що найважливіше, усувають основний недолік розрахункових методів – визначення гіпотетичної ймовірної поверхні ковзання. За допомогою методу вертикального електричного зондування (ВЕЗ) або зондування становленням електромагнітного поля можна встановити як положення поверхні ковзання, так і її тип (круглоциліндрична чи плоско-ступінчаста) [10].

Для прикладу, на рис. 1 наведено літологічний розріз однієї із досліджених зсувонебезпечних ділянок, побудований в картографічному пакеті Surfer на основі геоелектричного розрізу за даними ВЕЗ, з нанесеними двома ймовірними поверхнями ковзання.

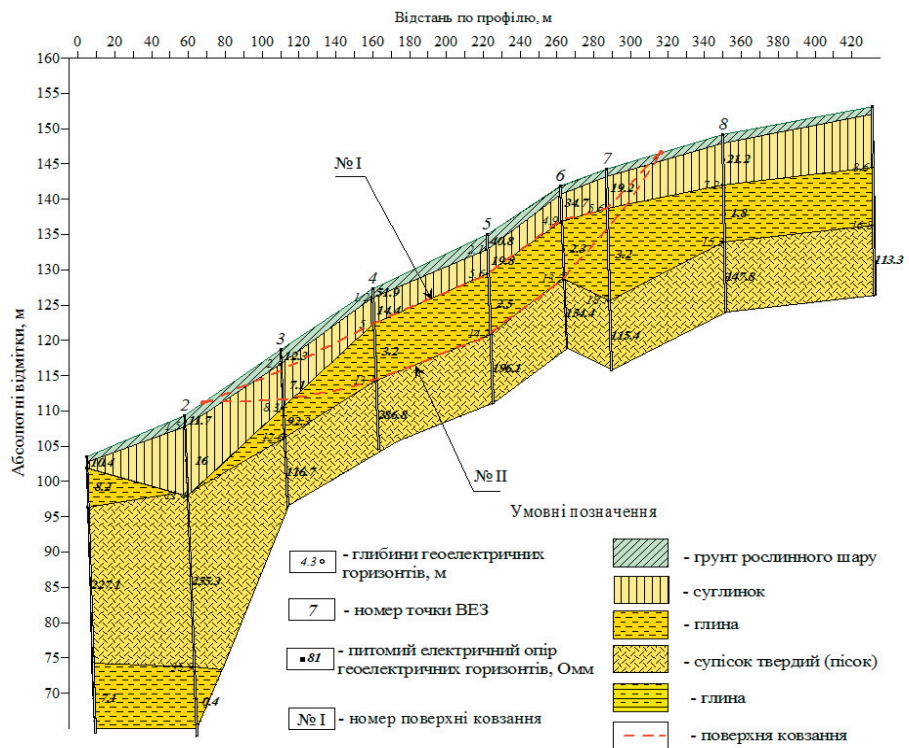


Рис. 1. Літологічний розріз за даними ВЕЗ з нанесеними ймовірними поверхнями ковзання

Незважаючи на те, що на сьогоднішній день існує значна кількість програмних продуктів по розрахунку стійкості схилів (GeoStab, GEO5, "Откос" та ін.), автором створено розрахунковий модуль по оцінці стійкості схилів для MapInfo виходячи з наступних причин.

Останнім часом, як в Україні, так і за кордоном основною вважається задача розроблення та створення геоінформаційних аналітичних систем (ГІС) прогнозування зсувних процесів [11 – 17], зокрема для України у межах геологічного блоку Урядової інформаційно-аналітичної системи з питань надзвичайних ситуацій. Здебільшого ГІС-технології використовуються для вирішення наступних задач: виділення, картування та створення кадастру зсувонебезпечних територій, створення баз даних по зсувах, просторове прогнозування зсувної небезпеки. Серед найбільш популярних ГІС-пакетів, що використовуються при просторовому прогнозуванні зсувних процесів, слід відмітити програмні продукти фірм ERSI (ArcGIS Desktop) та Mapping Information Systems (MapInfo).

Вибір середовища ГІС MapInfo для створення розрахункового модуля зумовлено тим, що в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу (ІФНТУНГ) саме в середовищі ГІС MapInfo створено систему просторово-часового довгострокового прогнозування зсувних процесів на кількісному імовірнісному рівні, що базується на встановленому зв'язку між величинами імовірностей виникнення зсувів і зсувної небезпеки при комплексній дії природно-техногенних факторів [12 – 14]. Таким чином, даний модуль дозволить розширити стандартні можливості MapInfo.

Також при створенні модуля враховано особливості досліджень зсувних та зсувонебезпечних схилів, що проводяться співробітниками ІФНТУНГ.

3. Принцип дії розрахункового модуля по оцінці стійкості схилів

Розрахунковий модуль "Розрахунок стійкості" реалізований на мові програмування для ГІС MapInfo – MapBasic. Розрахунок стійкості схилів здійснюється за методом круглоциліндричної поверхні [5]. Таким чином, на даний час він дозволяє розраховувати коефіцієнт стійкості зсувних та зсувонебезпечних схилів, що складені однорідними породами та мають круглоциліндричну форму поверхні ковзання.

Вхідними даними, що необхідні для розрахунків коефіцієнта стійкості є геологічний, геоелектричний чи літологічний розріз з нанесеною поверхнею ковзання, значення густини зсувних порід, центрального кута, розрахункового зчеплення та кута внутрішнього тертя порід.

Запуск модуля "Розрахунок стійкості" можна здійснювати як з середовища MapInfo вручну, так і налаштувати його автоматичний запуск, використовуючи модуль AUTO_LIB.MB, що входить в комплект MapBasic.

Після запуску модуля на виконання, в рядку заголовків меню MapInfo з'явиться додаткове меню "Розрахунок стійкості" (рис. 2), яке має наступні елементи:

- "Імпортувати вхідну схему";
- "Створити розрахункову схему";

- "Розрахувати коефіцієнт стійкості";
- "Вихід".

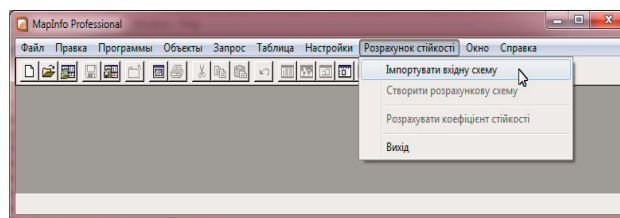


Рис. 2. Меню "Розрахунок стійкості"

Принцип роботи кожного із елементів меню "Розрахунок стійкості" розглянемо на прикладі розрахунку коефіцієнта стійкості для схилу, геологічний розріз якого наведений на рис. 3.

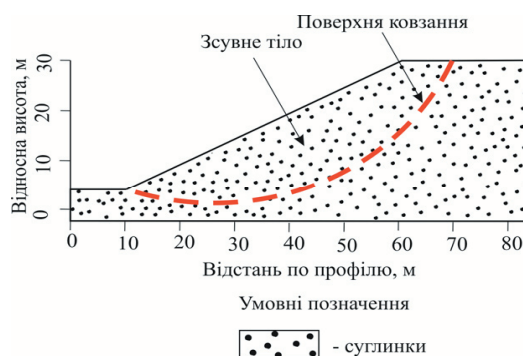


Рис. 3. Геологічний розріз для розрахунку стійкості схилу

Елемент меню "Імпортувати вхідну схему" служить для відкриття діалогового вікна, у якому необхідно вибрати файл з розширенням MIF, що містить попередньо підготовлену вхідну схему.

Підготовка вхідної схеми здійснюється наступним чином. Геологічний чи геоелектричний розріз досліджуваної ділянки з нанесеною поверхнею ковзання (рис. 3, а) експортується з пакету Surfer в редактор векторної графіки (наприклад, CorelDraw), в якому визначається центр обертання зсувного тіла O та центральний кут ω , а також здійснюється векторизація зсувного тіла, поверхні ковзання та радіуса R (рис. 4). Дана схема експортується в обмінний формат DXF, який за допомогою вбудованого в MapInfo модуля "Універсальний транслятор" перетворюється в обмінний формат MapInfo – MIF.

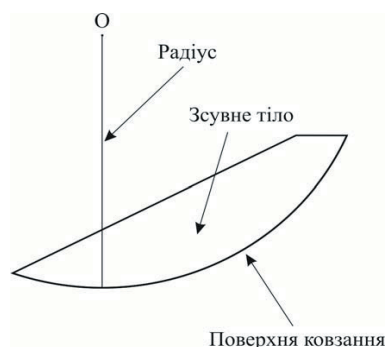


Рис. 4. Вхідна схема для розрахунку стійкості схилу

Таким чином, в наслідок виконання операції “Імпортувати вхідну схему”, в MapInfo імпортується усі необхідні елементи вхідної схеми – зсувне тіло, радіус, поверхня ковзання, при чому програма автоматично їх розпізнає і створює відповідні записи в полях таблиці (рис. 5).

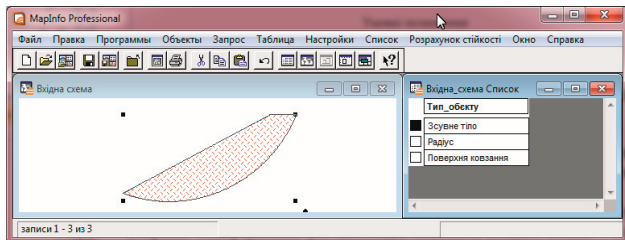


Рис. 5. Імпортована вхідна схема

Створення розрахункової схеми здійснюється за допомогою відповідного елемента меню та передбачає розбиття вхідної схеми на блоки, шириною $w=0.1R$, що здійснюється програмою автоматично (рис. 6). Довжину радіуса R програма визначає також автоматично. При цьому, якщо n – кількість блоків, на яку розбивається вхідна схема, і ширина останнього n -го блоку w_n є меншою за $0.05R$, програма визначає величину Δw :

$$\Delta w = \frac{w_n}{n-1} \tag{1}$$

та розбиває вхідну схему на $n-1$ блок шириною $w=w+w_n$.

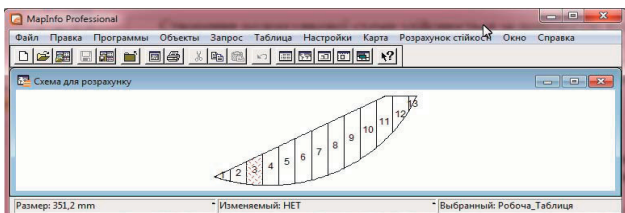


Рис. 6. Розрахункова схема

При виборі елемента меню “Розрахувати коефіцієнт стійкості” відкривається діалогове вікно, в яке необхідно ввести наступні дані для розрахунку: центральний кут ω , розрахункову густину γ , кут внутрішнього тертя ϕ та розрахункове зчеплення C порід, що утворюють поверхню ковзання. Крім того, передбачена можливість вибору нормативних значень останніх трьох показників у залежності від стану (консистенції) породи для глин, суглинків та супісків.

Слід відмітити, що програма автоматично розпізнає блоки, які стримують розвиток зсуву (в нашому випадку це блок 1 – 4), що враховуються в подальшому розрахунку коефіцієнта стійкості схилу.

Програма проводить усі необхідні проміжні розрахунки, що записуються у таблицю “Дані проміжних

розрахунків” та видає на екран вікно повідомлення зі значенням розрахованого коефіцієнта стійкості схилу (рис. 7). Також передбачена можливість експортувати вхідні, проміжні та розраховані дані в текстовий файл.

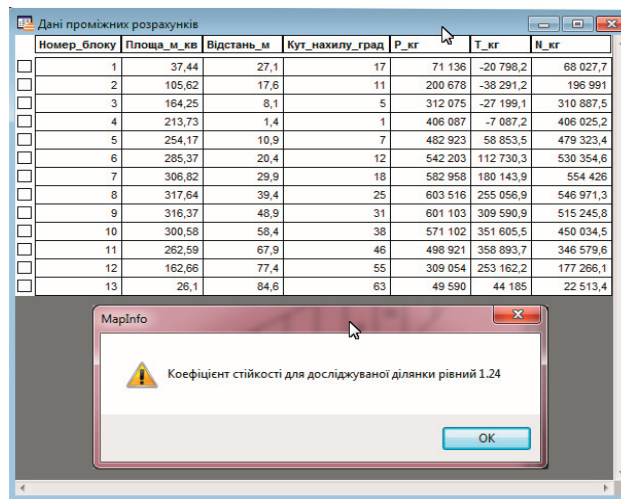


Рис. 7. Результати розрахунку коефіцієнта стійкості

Маси гірських порід на схилі знаходяться в граничній рівновазі при коефіцієнті стійкості рівному 1. Відповідно при коефіцієнті більшому за 1 схил має певний запас стійкості. В інженерно-геологічній практиці вважається достатнім, щоб коефіцієнт стійкості знаходився в межах від 1.1 до 1.3. Для нашого прикладу коефіцієнт стійкості рівний 1.24, таким чином схил є стійким.

4. Висновки

Створений розрахунковий модуль по оцінці стійкості зсувних та зсувонебезпечних схилів розширює стандартні можливості ГІС MapInfo. Всі дані розрахунків зберігаються в електронних таблицях MapInfo. При накопиченні бази даних по розрахунку стійкості схилів для багатьох ділянок досліджень, це дасть можливість аналізувати одержані значення, використовуючи засоби аналізу ГІС MapInfo (наприклад, проводити районування території за значеннями коефіцієнта стійкості).

На даний час створений розрахунковий модуль дозволяє визначати коефіцієнт стійкості схилів, що складені однорідними породами та мають круглоциліндричну форму поверхні ковзання.

В подальшому передбачається його удосконалення шляхом розширення можливостей – розраховувати стійкість схилів, що складені неоднорідними породами і мають плоско-ступінчасту форму поверхні ковзання, враховувати вагу споруд та гідродинамічний тиск.

Література

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2012 році [Електронний ресурс]. – К.: Державна служба України з надзвичайних ситуацій, 2013. – 385 с. – Режим доступу: <http://www.mns.gov.ua/content/nasdopovid2012.html>.

2. Ніщук, В. С. Инженерний захист та освоєння території: довідник [Текст] / В. С. Ніщук. – К.: Основа, 2000. – 344 с.
3. Bishop, A. W. The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes [Text] / A. W. Bishop // Géotechnique. – 1955. – Vol. 5, № 1. – P. 7-17.
4. Котов, М. Ф. Механика грунтов в примерах [Текст] / М. Ф. Котов. – М.: Высшая школа, 1968. – 272 с.
5. Маслов, Н. Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов [Текст] / Н. Н. Маслов. – М.: Высшая школа, 1982. – 512 с.
6. Гинзбург, Л. К. Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости и оползневое давления [Текст] / Л. К. Гинзбург. – М.: Центральное бюро научно-технической информации, 1986. – 134 с.
7. Федоровский, В. Г. Метод расчета устойчивости откосов и склонов [Текст] / В. Г. Федоровский, С. В. Курило // Геоэкология. – 1997. – № 6. – С. 95–106.
8. Горяинов, Н. Н. Изучение оползней геофизическими методами [Текст] / Н. Н. Горяинов, А. Н. Боголюбов, Н. М. Варламов и др. – М.: Недра, 1987. – 157 с.
9. Крив'юк, І. В. Визначення зсувної небезпеки локального рівня з використанням геофізичних методів [Текст]: дис. канд. геол. наук / І. В. Крив'юк. – К., 2012. – 170 с.
10. Кузьменко, Е. Д. Дослідження зсувних процесів геофізичними методами: монографія [Текст] / Е. Д. Кузьменко, А. Ф. Бессмертний, О. П. Вдовина, І. В. Крив'юк та ін.; за ред. Е. Д. Кузьменка. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2009. – 294 с.
11. Бессмертний, А. Ф. Опыт и перспективы использования ГИС-технологий для визуализации геофизических наблюдений при инженерно-геологических изысканиях [Текст]: II Междунар. науч.-практ. конф., Днепропетровск, 15-17 мая 2000 г. / А. Ф. Бессмертний // Проблемы и перспективы использования геоинформационных технологий в горной промышленности. – Днепропетровск: РИК НГА Украины, 2000. – С. 185-189.
12. Кузьменко, Э. Д. О создании системы временного прогноза оползней в Карпатском регионе [Текст] / Э. Д. Кузьменко, С. В. Гошовский, П. В. Блинов, А. Н. Карпенко // Екологічні проблеми нафтогазового комплексу: наук.-практ. конф.: тези доп. – К.: Знання, 2004. – С. 87-89.
13. Kuzmenko, E. D. System of space-time forecast of landslide processes [Text] / E. D. Kuzmenko, Y. I. Kryzhanivsky, A. M. Karpenko, A. M. Zhuravel // Proceedings XVIII-th Congress of the Carpathian-Balkan Geological Association: Belgrade, Serbia, September 3-6, 2006. – P. 310-312.
14. Кузьменко, Е. Д. Геоінформаційна система прогнозування зсувної небезпеки для адміністративної області (на прикладі Івано-Франківської) [Текст]: матеріали XIII Міжнар. наук.-техн. симпозіуму, Алушта, 9-14 вер. 2008/ Е. Д. Кузьменко, О. М. Журавель, О. М. Мандрик // Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS-технології. – Львівське астрономо-геодезичне товариство, 2008. – С. 146-148.
15. Карфидова, Е. А. Геоинформационные возможности формирования информационной базы для задач картографирования оползневой опасности городской территории [Текст]: мат. годичной сессии Научного совета РАН, 23–24 марта 2009 г./ Е. А. Карфидова, А. И. Селивончик // Сергеевские чтения. Моделирование при решении геоэкологических задач. По проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. – М.: ГЕОС. – 2009. Вып. 11. – С. 46-50.
16. Рыбченко, А. А. Методика оценки опасности ЭГП, с использованием ГИС-программ [Текст]: мат. годичной сессии Научного совета РАН, 23–24 марта 2009 г. / А. А. Рыбченко, А. В. Кадетова // Сергеевские чтения. Моделирование при решении геоэкологических задач. По проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. – М.: ГЕОС. – 2009. Вып. 11. – С. 82-85.
17. Степчук, В. М. Выявление и картографирование оползней в Тернопольской области [Текст] / В. М. Степчук, М. В. Аристов, Р. А. Спица // Геопрофиль. – К. – 2009. – № 3. – С. 26-32.