

поля одним методом будь-якою кількістю ітерацій. Тектонічні зони ретельно простежені в двох зрізах на більшій глибині, а в верхньому шарі ці зони ($X=4000\text{м}$ та $X=9000\text{м}$) виділяються слабо і простежуються тільки по наявності малих ділянок з малим відхиленням щільності. В другому та третьому шарах біля зон високих градієнтів щільності виділено аномалії підвищеної щільності, які пояснюються високим вмістом сульфідних мінералів в породах карбонатного складу.

На рис.2 приведена карта аномальної щільності гірських порід, одержана в результаті розв'язку ОЛЗГ на першому етапі для тієї ж трьох шарової моделі, але вже після осереднення поля сили тяжіння (рис.1а). Тут також зафіксовані зони збільшеної щільності гірських порід в центральному блоці гірських порід карбонатного складу біля самих тектонічних зон, що пояснюється приносом в ці зони з глибини важкої сульфідної мінералізації.

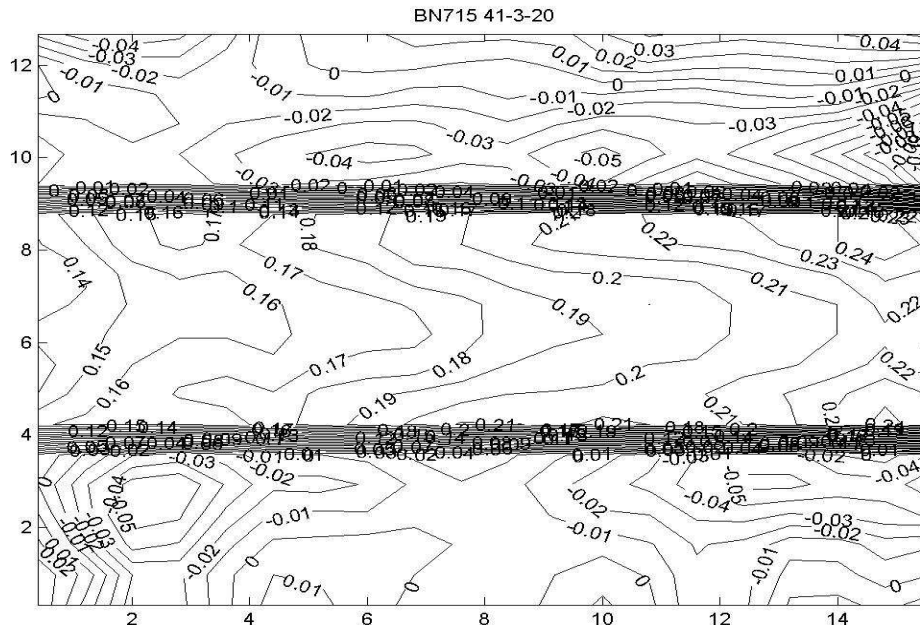


Рис.2. Результати інтерпретації осередненого поля сили тяжіння на першому етапі: карта аномальної щільності гірських порід другого шару потужністю $0,3 < z_2 < 0,65 \text{ км}$ (ізолінії приведені в г/куб.см)

Висновки

1. Вивчення будови тектонічних зон можливе за допомогою лінійно-нелінійних методів гравіметрії. 2. Необхідне формування комплексу методів розв'язку обернених задач гравіметрії. 3. Треба використовувати різні фізичні моделі геологічного середовища. 4. Почергове використання по декілька ітерацій різних алгоритмів ОЛЗГ та ОНЗГ є ефективним засобом вивчення будови тектонічних зон в місцях будови екологічно небезпечних об'єктів.

1. Миненко П.А., Миненко Р.В. Исследование структуры гранито-мigmatитно-гнейсовых комплексов украинского щита нелинейными методами гравиметрии. "Научный вестник Национального горного университета", №9, Днепропетровск, 2005, с.66-68. 2. Миненко П.А. Линейно-нелинейная обратная задача гравиметрии при поисках рудных месторождений в приповерхностной части Украинского кристаллического щита. "Сборник научных трудов Национального горного университета", №23, Днепропетровск, 2005, с.136-143. 3. Миненко П.А. Особенности решения обратной линейно-нелинейной задачи гравиметрии. // Геоинформатика, НАНУ, Центр менеджменту та маркетингу в галузі наук про Землю ІГН НАН України, №4, 2005, с.31-35.

УДК 550.89

О. Іванік, канд. геол. наук, доц.
О. Лісова, асп.

ПРИНЦИПИ АНАЛІЗУ ВОДНО-ГРАВІТАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ЇХ ВПЛИВУ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННИХ СИСТЕМ У МЕЖАХ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Визначено головні підходи до вивчення водно-гравітаційних процесів у межах Закарпатської області, що полягають у дослідженні напружено-деформованого стану геологічного середовища. Проаналізовано головні фактори виникнення зсувних явищ та визначено параметри, що повинні враховуватись у розрахунково-аналітичному модулі по аналізу водно-гравітаційних процесів та їх впливу на ПТС.

The main approaches to the study of water-gravity processes in Carpathian region have been determined. They are lied in research of strain-deformed state of geological environment. The main factors of landslide formation have been analyzed. The parameters which must analyzed in water-gravity processes analytical modul have been estimated.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Всі лінійні інженерні споруди, у тому числі магістральні трубопроводи, залізничні полотна й автошляхи є природно-техногенними системами (ПТС). Їх функціонування перебуває в прямій залежності від інженерно-геологічних умов території. Для забезпечення надійності й підвищення ефективності функціонування ПТС, збере-

ження навколишнього середовища, у тому числі геологічного середовища (ГС), під впливом різних факторів необхідними є оцінка, аналіз і прогноз змін геологічного середовища й негативних наслідків таких змін для інженерних об'єктів і навколишнього середовища. Оцінка прямих і зворотних зв'язків лінійних споруд та геологічного середовища вимагають аналізу комплексу факторів,

© О. Іванік, О. Лісова, 2006

що обумовлює обов'язкове прогнозування поведінки природних і техногенних об'єктів. Недостатність врахування глибинних змін геологічного середовища призводить, як правило, до негативних наслідків, що, безсумнівно, спричиняє ряд екологічних і економічних проблем.

Оцінка стійкості геологічного середовища й прогноз розвитку небезпечних геологічних процесів, а також їх геолого-техногенних аналогів, у більшості випадків є наближеною через складність геологічної обстановки, багатofакторність, різні механізми і динаміка процесів, а також через труднощі в досягненні адекватності створених природно-техногенних моделей, геомеханічних схем моделювання й вихідно-теоретичних позицій методів.

Підвищення адекватності створених природно-техногенних моделей є можливим лише при застосуванні методів найбільш точної кількісної оцінки небезпечних геологічних процесів, що відбуваються, і відповідно геолого-математичного моделювання досліджуваних явищ.

Внаслідок цього одним з основних методів вивчення водно-гравітаційних процесів є дослідження й визначення напружено-деформованого стану геологічного середовища, що, безсумнівно, привертає до себе увагу багатьох дослідників, оскільки найбільш точно прогнозує умови виникнення цих явищ. Для цього більшістю дослідників використовуються: 1) прямі вимірювання напружень, однак вони не завжди відображають реальну картину досліджених явищ унаслідок порушення цілісності середовища та реальності його умов; 2) вивчення на моделях із використанням тензометричних методів, оптичних методів у поляризованому світлі та ін.; 4) теоретичні методи, що визначають напруження та деформації геологічного середовища шляхом аналітичних розв'язків та чисельного (комп'ютерного) моделювання над ідеалізованим ґрунтом. Остання група методів останнім часом розробляється достатньо активно, оскільки саме теоретичні дослідження характеризуються певною універсальністю, багатоваріантністю та можливістю оперування багатьма факторами, хоча і потребують глибоких аналітичних рішень.

Постановка завдання. У зв'язку із вищезазначеним головною метою досліджень є створення адекватної геолого-математичної моделі водно-гравітаційного процесу із обов'язковим визначенням напружено-деформованого стану ПТС. Така постановка задачі вимагає визначення комплексу факторів, що характеризують цей стан і які є певними критеріями оцінки та прогнозу водно-гравітаційних явищ, як прямими, так і опосередкованими. Важливим є той факт, що ці критерії повинні відповідати умовам критичного стану досліджуваного об'єкту, внаслідок досягнення яких порушується рівновага у природно-техногенній системі та втрачається її стійкість.

Викладення основного матеріалу. Модельним регіоном досліджень виступала територія Свалявського, Воловецького та Іршавського районів Закарпатської області. Вибір регіону насамперед обумовлений репрезентативністю й частотою досліджуваних водно-гравітаційних процесів та їх наслідків, а також наявністю транспортного коридору, сукупність і взаємодія яких являє собою ідеальну природно-техногенну (геотехнічну) систему для моделювання. Існує ряд прикладів негативного впливу водно-гравітаційних процесів на лінійні та інші споруди. Так, тільки останнім часом геологами Закарпатської геологорозвідувальної експедиції виявлені 960 зсувів, 957 жителів закарпатців перебувають у зсуво- і селенебезпечних зонах. Численні ділянки залізничних та автошляхів перебувають під загрозою руйнування.

Прогнозна оцінка впливу названих негативних геологічних факторів може бути досягнута шляхом ство-

рення геологічних і математичних моделей, комп'ютерних програм і чисельного експерименту на основі геологічної й математичної постановки задач механіки суцільних середовищ. Засобом прогнозування повинен стати розрахунково-аналітичний модуль по аналізу водно-гравітаційних процесів та їх впливу на ПТС.

Для створення даного модуля необхідним є аналіз комплексу факторів, що здійснюють вплив на напружено-деформований стан у досліджуваній природно-техногенній системі. Для дослідження напружено-деформованого стану ГС і встановлення механічних параметрів різних літологічних типів порід необхідними є аналіз і визначення порогових значень по кожному із критеріїв.

Аналіз факторів, що впливають на умови формування та поширення водно-гравітаційних процесів у межах досліджених районів дав змогу визначити головні критерії та параметри, що повинні використовуватись у розрахунково-аналітичному модулі. Такими критеріями виступили наступні показники.

Крутизна та висота схилів, оскільки саме цей критерій є взаємопов'язаним показником, що визначає нормальні та дотичне напруження в зоні або на контакті зсувного тіла. Для визначення цього показника засобами ArcGIS проведена оцифрування рельєфу досліджуваних регіонів і визначені їх основні морфометричні показники. Створено карту тривимірного зображення рельєфу обраного модельного регіону. На основі проведеного статистичного аналізу близько 70 зсувів у межах вказаних районів визначено, що зсуви розвиваються на схилах із крутизною від 2 до 60°, однак більшість з них (близько 40) приурочені до схилів з кутами нахилу від 2 до 20°. Додатковим фактором є приуроченість зсувів до певних геоморфологічних рівнів.

Склад порід. Твердість і деформованість різних літологічних типів гірських порід пов'язані з умовами їх формування, речовинним складом і фізичним станом. Внаслідок натурних спостережень установлено, що більшість зсувів приурочені до четвертинних відкладів. Дані висновки підтверджує аналіз карти четвертинних відкладів та існуючих зсувів у ГС-середовищі.

Загалом відклади четвертинного часу малопотужним чохлом покривають більш давні вулканогенні та осадові породи. Вони представлені різноманітними генетичними типами, серед яких найбільш розвинуті алювіальні, пролювіальні, делювіальні, змішані – пролювіально-делювіальні, гравітаційні (зсувні та обвальні-осипні), карстово-суфозійні та болотні [2].

Виділяються сучасні, верхньо- та середньо четвертинні відклади. Нижньочетвертинні відклади на дослідженій площі майже повністю відсутні, оскільки зденудовані більш пізніми ерозійними процесами, за виключенням локальних ділянок вздовж крутих схилів Вигорлат-Гутинської вулканічного пасма, де вони перекриті делювіально-пролювіальним матеріалом.

Делювіальні відклади поширені повсюдно по всій площі, за виключенням дніщ річкових долин та вирівняних просторів вододілів. Представлені вони суглинисто-щебенитим матеріалом, потужністю від 0,5 до 5-7 м. Саме у цих відкладах досліджені зсуви виявляються найбільш активно. Значне розповсюдження мають алювіальні пухкі утворення. Вони ж характеризуються найбільшою потужністю, сягаючи 25 м в розширеннях річкових долин.

Сучасні алювіальні відклади виповнюють високі заплави та невеликі пониження в руслах річок. Потужність в середньому складає 6-8 м і тільки в гирлі р. Свалявка та р. Латориця вона досягає 18 м. Алювіальні відклади верхньочетвертинного часу складають першу надзаплавну акумулятивну терасу (з потужніс-

тюд відкладів 7-10 м) та другу надзаплавну акумулятивно-цокольну терасу (з потужністю відкладів від 14 до 25 м). Обидві тераси простежуються майже безперервною смугою по долинах річок Свалаявка та Латориця. Алювіальні відклади середньочетвертинного віку складають третю та четверту цокольні тераси. Третя тераса з потужністю відкладів до 5-6 м розвинута західніше м.Свалаява на лівому схилі р. Пиня складена покривними бурувато-сірими важкими суглинками з домішками гальок та валунів сірих пісковиків. В інших місцях ця тераса не збереглася. Четверта надзаплавна тераса характеризується кращою збереженістю. Вона простежується на обох схилах долини Латориці, але має суто цокольний характер. Осадочний матеріал розмитий повністю і про наявність тераси можна судити лише за фрагментами нахилених площадок, покритих 2-3 м потужності бурувато-сірими суглинками з одиничними відмінно окатаними гальками корінних порід.

Пролувіальні утворення представлені слабоокатаними валунами або кутоватими брилами андезитів та андезито-базальтів на схилах вулканогенного пасма та міцних поліміктових та кварцевих пісковиків, алевролітів та вапняків – в межах відрогів Полонинського хребта. Інтенсивне танення снігу, дощі, які призводять до крупних паводків, сприяють виникненню селевих потоків, які являються головними постачальниками цього генетичного типу відкладів. Елювіальні утворення розвинуті на вододілах хребтів та їх відрогів та на верхніх частинах схилів вододілів. Представлені малопотужним покривом щебеню та бриловими розвалами ефузивів. Карстово-суфозійний матеріал формується вздовж північних схилів масиву Борліїв Діл, де розвинуті карбонатно-глинисті відклади Піснинської (утесової) зони.

Всі описані генетичні та літологічні різновиди порід характеризуються різними фізичними та механічними властивостями, визначення яких є одним із головних завдань при дослідженні напружено-деформованого стану геологічного середовища.

Одним з головних параметрів фізичного стану гірських порід, що істотно впливають на механічні властивості, є **вологість**. Вона характеризується кількістю води, що заповнює пори. У залежності від ступеня вологості піщані та глинисті породи можуть знаходитись у різному фізичному стані, у відповідності із яким змінюється їх міцність, деформівність та стійкість. Вологість виражається відношенням маси води, що заповнює пори породи, до маси сухої породи у долях одиниці чи у процентах від маси сухої породи. Врахування цього параметра особливо необхідне при дослідженні небезпечних геологічних процесів у пухких гірських породах. На формування цього параметру впливають кількість опадів у межах означеного району, характер інфільтрації та умови залягання підземних вод.

Вологість гірських порід визначає зміну фізичного стану різних літологічних типів порід. Для визначення меж показників текучості та пластичності різних літологічних різновидів гірських порід використано емпіричні дані, представлені різними авторами [3, 4]. Для з'ясування взаємозв'язку механічних та фізичних параметрів ґрунтів та розрахунку порогових значень фізичного стану порід проведено статистичну обробку та інтерполяцію отриманих даних. Слід зазначити,

що більшість значень та критеріїв для класифікації глинистих порід згідно їх показників консистенції наводиться для порід порушеного стану, визначення відповідних показників для глин у їх природному стані є достатньо проблематичним.

Так, визначено залежність між модулем загальної деформації E та значеннями пористості різних літологічних типів гірських порід залежно від їх консистенції. В усіх випадках спостерігається зниження значень модуля деформації при зростанні коефіцієнтів пористості порід, що є природним і обумовлене загальними законами механіки ґрунтів.

За рахунок інтерполяції даних [3] та визначення залежності між вказаними показниками з'ясовано, що для глин модуль деформації E при мінімальних значеннях коефіцієнтів пористості n (0,4) становить 44 МПа, а при максимальних значеннях n 1,6 – 5 МПа при консистенції $0 \leq I_L \leq 0,25$. При консистенції $0,25 \leq I_L \leq 0,5$ відповідно 37 та 3 МПа, а при консистенції $0,5 \leq I_L \leq 0,75$ – 36 та 1,8 МПа. Таким чином, при підвищенні пластичності глинистих порід відбувається зниження значень модуля деформації.

Подібні дані спостерігаються і для суглинків. Так, нормативні значення модуля деформації при певній пористості для елювіальних суглинків при різних фізичних станах, що характеризуються різними значеннями консистенції гірських порід, змінюються у напрямку зниження при підвищенні пластичності. При консистенції $0 \leq I_L \leq 0,25$ значенням коефіцієнтів пористості 0,55, 0,75, 1,05 та 1,2 відповідають значення модуля деформації відповідно 27, 23, 17 та 14 МПа. При консистенції $0,25 \leq I_L \leq 0,5$ при значеннях коефіцієнтів пористості 0,75, 1,05 та 1,2 визначено модулі деформації відповідно у 16, 12, 11 МПа. Фізичний стан суглинків, що відповідає консистенції $0,5 \leq I_L \leq 0,75$, характеризується значеннями E при пористості 0, 75, 1,05, та 1,2 відповідно 15, 10 та 9 МПа.

При визначенні даних взаємозалежностей для супісків з'ясовано, що при консистенції $0 \leq I_L \leq 0,75$ у разі підвищення коефіцієнту пористості відбувається різка зміна модуля деформації у напрямку зменшення значень. Так, при коефіцієнті пористості 0, 55 цей показник складає 24 МПа, а при $n=0, 85$ відповідно 7 МПа. Для пісків значення модуля деформації загалом зростають. Так, при значеннях коефіцієнта пористості 0,45 $E=44$ МПа, при 0,55 – 31 МПа, при 0,65 – 22 МПа, при 0,75 – 14 МПа, а при 0, 85 – 13 МПа.

Важливим показником для глинистих порід є межа текучості, яка характеризує зміну фізичного стану порід та їх перехід у рідкотекучий стан. Ця межа є чутливою характеристикою для оцінки та прогнозування гравітаційних процесів, так як саме перехід через межу текучості характеризує порушення динамічної рівноваги у межах певного схилу (безумовно із урахуванням інших його параметрів).

У результаті статистичної обробки даних визначено механічні параметри порід на межі текучості при різних коефіцієнтах пористості. Для глин на початку модуля деформації при консистенції на межі текучості $I_L = 1$ при коефіцієнті пористості 0, 65 становить 16 МПа (рис. 1)

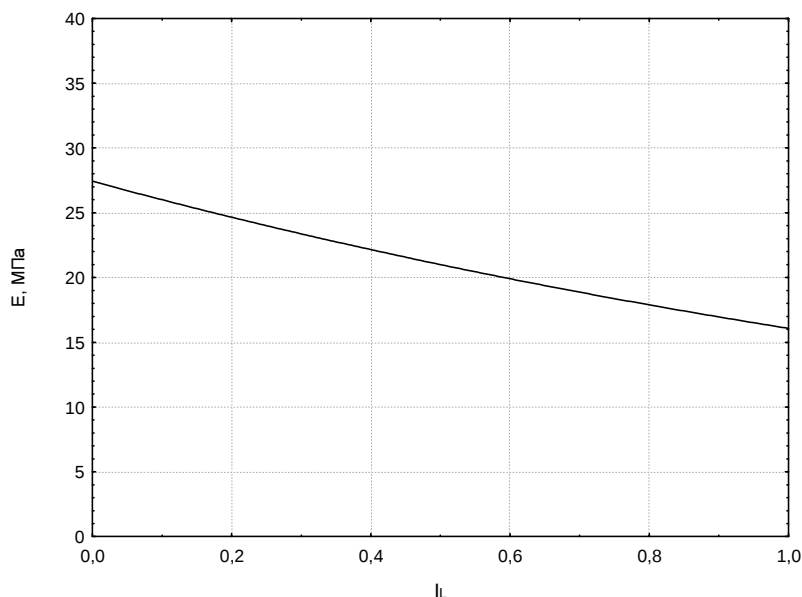


Рис. 1. Графік залежності значення модуля деформації E , МПа від консистенції I_L для глин при $n=0,65$.

Для суглинків при значеннях коефіцієнта пористості 0,75, 1,05 та 1,2 показники модуля деформації на межі текучості становлять відповідно 11,5, 7,5 та 6,5 МПа.

Визначені залежності між фізичними та механічними параметрами дають змогу використати отримані дані для розрахунку стійкості схилів. Отримані дані по механічних параметрах на межі текучості різних літологічних типів порід зможуть бути використані у розрахунково-аналітичному модулі по аналізу впливу гравітаційних процесів на функціонування транспортних систем. Даний показник має першочергове значення для розрахунків, оскільки саме межа текучості є визначним параметром, що характеризує порушення динамічної рівноваги у межах схилів, котре створює передумови для прояву небезпечних процесів і виникнення екстремальних ситуацій. Для передбачення запасу стійкості схилів у розрахунках слід використовувати нижні межі отриманих значень механічних параметрів.

Однією із важливих розрахункових характеристик, що належать до фізичних властивостей гірських порід, є **густина**. Саме цей показник є одним із головних у розрахунково-аналітичному модулі по аналізу впливу гравітаційних процесів на функціонування транспортних систем. Саме густина породи у цілому характеризує щільність її складення і тому дозволяє у якості розрахункового показника встановлювати її міцність, деформівність та стійкість.

Потужність та щільність мас, які характеризують величини напружень в зоні зміщення, з додатковими параметрами, що характеризують зсувні зміщення.

Одним з факторів, що впливають на активізацію водно-гравітаційних процесів є сейсмічність.

Карпатський регіон є одним з найбільш сейсмоактивних регіонів України. Загалом він характеризується значною сейсмічністю, щороку тут реєструється від 10 і більше землетрусів з магнітудою від 0,6 до 2 і більше, і в середньому кожні 5-10 років відбуваються землетруси з магнітудами 2,5-3, які супроводжуються макросейсмічними ефектами (сила струшувань досягає 5-6 балів). Кожних в середньому 60-100 років відбувається 1-2 ще сильніших (магнітудою до 4-4,7) місцевих або в прилягаючих районах Словаччини, Угорщини чи Румунії землетруси, що спричиняють на території Закарпаття струшування силою до 7 балів.

У межах обраного модельного району за даними С.В.Євсєєва і зарубіжних сейсмологів А.Затопека і

А.Ретлі за період 1797-2003 рр. зафіксовано 9 землетрусів з магнітудою від 2,9 до 4,7. Бальність в епіцентрі С.В.Євсєєвим оцінено на основі шкали MSK-64 за даними про відчуття людей та пошкодження будівель, які були спричинені землетрусами.

В загальному за макросейсмічними даними по цьому та інших землетрусах район Мукачєвого зазнає 3, 4 і 5-6 бальних струшувань, район Сваляви – 3-7 бальних струшувань.

За інструментальний період спостережень з 1961-2003 рр. в Карпатському регіоні України зафіксовано 54 землетруси. Найбільша кількість землетрусів з малою магнітудою тяжіє до району Мукачєвого і Сваляви. А в Карпатах зафіксовані землетруси з більшими магнітудами.

У межах району Іршави за період спостережень 1961-2003 рр. спостережено 35 землетрусів.

Звертають увагу землетруси 1974 року. Як свідчать попередні дослідження, ці землетруси відносяться до рою Іршавських землетрусів і відбулися з 25 лютого по 31 березня 1974 року.

Найбільш інтенсивні землетруси приурочені до зони Закарпатського глибинного розлому, яка характеризується найбільш інтенсивними і дуже диференційованими опусканнями, а також обстановкою інтенсивного горизонтального розтягу [1].

Такі особливості місцевої геодинаміки та сейсмічності можуть бути однією з причин небезпечних процесів у даному районі: інтенсифікації зсувів, порушень профілю залізничного полотна, аварій на трубопроводах тощо.

Висновки. Проаналізовані фактори є пріоритетними для виявлення стійкості зсувонебезпечних схилів і отже їх врахування при розробці комплексного розрахунково-аналітичного модуля по аналізу водно-гравітаційних процесів і їх впливу на ПТС є першочерговим. Саме запропоновані вище показники, а саме їх порогові значення, є визначальними для зміни напружено-деформованого стану схилу й відповідно його стійкості.

1. Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат (Максимчук В.Ю., Кузнєцова В.Г., Вербицький Т.З. та ін.). – К.: Наукова думка, 2005. – 256 с. 2. Рудько Г., Кравчук Я. Інженерно-геологічний аналіз Карпатського регіону України. – Львів, 2002. 3. Справочник по механике и динамике грунтов (Швец В.П., Гинзбург Л.К., Гольдштейн В.М. и др.). – К.: Будівельник, 1987. – 231 с. 4. Тер-Степанян Г.И. Новые методы изучения оползней. – Ереван: Изд-во АН Армянской ССР, 1978. – 152 с. 5. Тихвинский И.О. Оценка и прогноз устойчивости оползневых склонов. – М.: Наука, 1982. – 255 с.