

ИЗПОЛЗВАНЕ НА ДИСТАНЦИОННИ ДАННИ ЗА ИЗУЧАВАНЕ НА СВЛАЧИЩА (НА ПРИМЕРА НА СВЛАЧИЩЕТО ПРИ ГЕНЕРАЛ ГЕШЕВО – ИЗТОЧНИ РОДОПИ)

Александър Гиков

*Институт за космически и слънчево-земни изследвания - Българска академия на науките
e-mail: gikov@mail.space.bas.bg*

Ключови думи: свлачища, измерване на хоризонталните премествания, дистанционни методи, Източни Родопи

Абстракт: Разгледано е приложението на аеро и сателитни оптични изображения с различна пространствена разделителна способност на примера на голямото свлачище при с. Генерал Гешево. Аероснимки и сателитно изображение от WorldView-1 с резолюция 0,5 m, заснети преди и след свличането, са използвани за да се измерят хоризонталните премествания. За определяне и картографиране на тези параметри са посочени етапите по обработката на изображенията и е предложен алгоритъм от четири стъпки. Изготвена е подробна карта с размера на хоризонталните премествания, настъпили в периода 1996-2008 г., съставена изцяло чрез дистанционни методи и ГИС. Заедно с изображенията с много висока разделителна способност, за проследяване динамиката на свлачищния процес, са анализирани и изображения със средна разделителна способност, заснети от Landsat-7 ETM+.

STUDYING LANDSLIDES USING REMOTELY SENSED DATA (USING EXAMPLES OF A LANDSLIDE CLOSE TO THE VILLAGE OF GENERAL GESHEVO, EASTERN RHODOPE MOUNTAIN)

Alexander Gikov

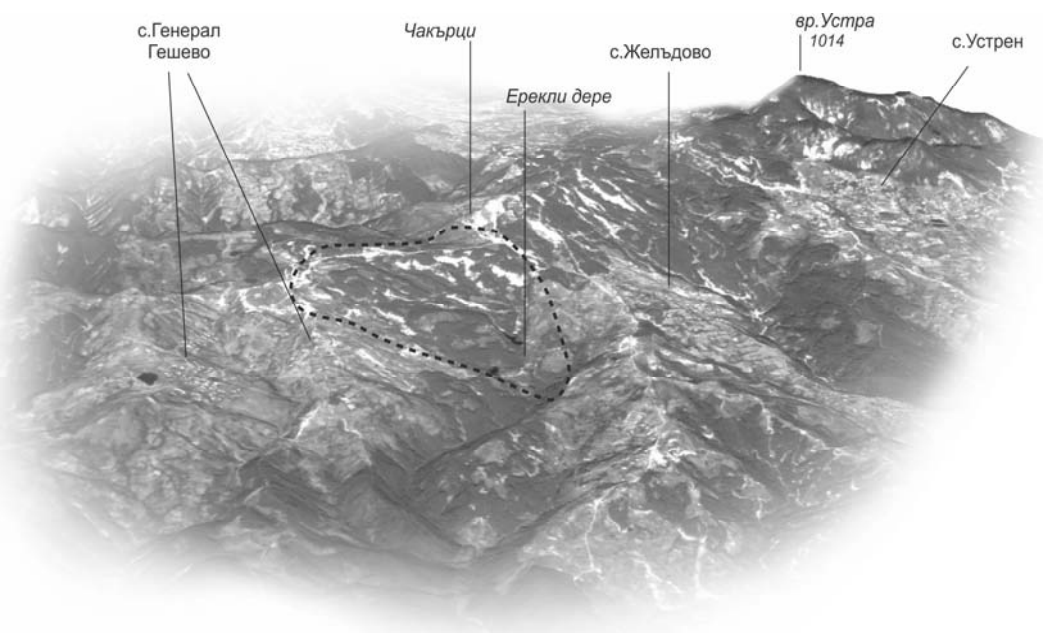
*Space and Solar-Terrestrial Research Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: gikov@mail.space.bas.bg*

Keywords: Landslides, measurement of horizontal displacement, Remote Sensing, Eastern Rhodope mountain

Abstract: The application of aerial and satellite optical images with various spatial resolutions for landslide study is examined. The landslide is located between the Villages of General Geshevo and Zheludovo, Eastern Rhodope Mountain. Both aerial and WorldView-1 images with resolution of 0,5 m acquired before and after the sliding are used for calculation of the horizontal displacement. A four-step algorithm is shown. A map of the horizontal shifting is composed. To determine the landslide's activation, a series of Landsat-7 images are used.

Въведение

Използването на аероснимки при изследването на свлачища е световна практика отдавна [1, 2, 3, 4, 6, 7, 8]. С появата на сателитни изображения с метрова и под метрова резолюция започнаха да се използват и сателитни изображения за тази цел [9, 10, 11]. У нас за сега няма публикации, посветени на приложението на аероснимки или сателитни снимки за извличане на параметрите на свличане. Напоследък в чужбина приложение намират и радарните снимки. Особена актуалност напоследък имат изследванията на свлачища чрез лидарно заснемане, както от въздуха, така и наземно [11, 12, 13, 14]. Сериозна пречка за широкото приложение на лидарните снимки е сравнително високата им цена.



Фиг. 1. Тримерен модел на района на свлачището с наложена отгоре сателитна снимка – поглед от югоизток. С пунктир приблизително е оконтурена територията, засегната от свлачищния процес. Като тъмни петна се забелязват образуваните езера в долната част на свлачището и особено голямото езеро в Ерекли дере. На заден план вдясно се откроява устренската вулканска структура.

Основната **цел** на доклада е да се демонстрира приложението на сателитни изображения с различна пространствена разделителна способност и самолетни снимки с много висока за изследване на свлачищния процес на примера на обширното свлачище при село Генерал Гешево.

Обща характеристика на района и свлачището

Свлачището е разположено в Жълти дял на Източните Родопи на надморска височина между 550 и 780 m н.в. На изток от него се намира село Жельдово, а на север свлачището достига до къщите на махалата Чакърци (фиг.1). Скалите, изграждащи Устренската вулканска структура, са представени от риолити и риодацити с олигоценска възраст. Територията, засегната от свлачището е изградена основно от изпечени туфи със същата възраст. По-малки територии са заети от конгломерати и по-фини седименти от Джебелската свита. Размерите на свлачището са значителни. По-дългата ос е с дължина 1,8 km и с направление СЗ-ЮИ, а по-късата е с направление ЮЗ-СИ и с дължина 1,25 km, а планиметричната площ 1,5 km². Свлачището е много дълбоко. Счита се, че максималната дълбочина достига 94 m [15]. Подробна характеристика на свлачището е представена в доклада „Изследване на свлачищните процеси...“, публикуван в същия сборник [16]

Определяне на параметрите на хоризонталните движения чрез изображения с много висока разделителна способност

Наличието на данни за хоризонталните и вертикалните премествания много допринася за осмисляне на механизма на свлачище [14]. Когато става въпрос за такова голямо свлачище, като това при с. Генерал Гешево, определянето на тези параметри представлява трудна и дори непосилна задача. Докато величината на пропадане би могла да се измери относително точно директно на главния откос (фиг.2), то за хоризонталните премествания, поради обширната територия, участваща в свлачището, този подход на преки измервания е неприложим. В свлачището няма стари геодезични репери, поставени преди свлачището, чиито повторни измервания биха показали направлението и големината на преместване. По тази причина параметрите на хоризонталните премествания бяха неизвестни досега.

Най-добри възможности за определяне на тези параметри дава цифрово фотограметричния подход, приложен от Rawers et al. [4] и други автори. Когато започна работата за извличане на тези параметри на свлачището при с. Генерал Гешево, тези разработки бяха все още непознати. Затова се наложи да се разработи оригинална методология, която макар и в основата си да е аналогична на посочените чуждестранни разработки, се отличава в детайлите от тях.



Фиг. 2. Свлачището в близост до махалата Чакърци. Поради пропадането на терена се е образувал свлачищен откос. Чрез измерване на неговата височина в точка **A** се установи, че вертикалните движения в този участък имат амплитуда до 8 m. Снимка – юли 2006 г.

За да се установи фотограмметрически свличането естествено трябва да се използват поне две заснемания, заснети преди и след свлачищното събитие. Военно-топографската служба (ВТС) разполага с богат архив от аероснимки, който се съхранява в Троян. От неотдавна аероснимките могат да се закупят не само като хартиени контактни копия, но също и като сканирани негативи. Както е известно, при фотограмметричната обработка се препоръчва да се ползват негативи [17].

За проучване състоянието на терена назад във времето от ВТС – Троян са закупени аероснимки от три заснемания – 1973, 1987 и 1996 г. Сканирането е извършено с фотограмметричен скенер при резолюция 16 микрона (1588 dpi). Скенерът е високоточен със средноквадратична грешка на позицията не повече от 4 микрона. На архивните снимки следи от свлачищна активност не са открити. Затова по-старите аероснимки не са подложени фотограмметрична обработка.

За съставяне на аерофотоплан, съответстващ на състоянието на терена преди активизирането на свлачищния процес, са подбрани 7 кадъра от заснемането през 1996 г. Те формират малък фотограмметричен блок, състоящ се от две ивици. Аероснимките са заснети с рамковата камера Wild RC-30, която има фокусно разстояние 152,92 mm и размер на кадъра 23 x 23 cm. Заснемането е извършено приблизително от височина 3,8 km. При тази височина на полета кадърът обхваща площ около 20-21 km² (правоъгълник с размер 4,5-4,7 km). Всеки кадър има 8 рамкови марки: 4 в ъглите (с координати +/-106 mm) и 4 на всяка една от рамките (с координати +/-112 mm).

Орторектификация на аероснимките. За да може да се използват като база за сравнение на настъпилите вследствие на свличането промени, аероснимките първо трябва да се подложат на орторектификация. Чрез нея аероснимките се трансформират от централна проекция в ортогонална, а изместванията, дължащите на релефа, се отстраняват. За извършване на тази процедура е използван софтуерът LPS 9.1 и цифров модел на релефа (DEM) с размер на клетката 30 m. Проекцията, зададена на целия блок, е UTM зона 35.

Параметрите на вътрешното ориентиране, благодарение на използването на фотограмметричен скенер, са добри – средноквадратичната грешка е между 0,2 и 0,5 пиксела. Външното ориентиране на кадрите е осъществено чрез опорни точки, осигуряващи абсолютното ориентиране и свързващи точки, осигуряващи взаимното ориентиране на кадрите. Измерването на координатите на опорните точки е извършено по време на теренната работа с едночестотен GPS приемник Торсон (конфигурация от GMS-2, MAP RT и външна антена MG-A5). За постигане на по-голяма точност са ползвани диференциални поправки, приемани в реално време по радиочестота от станцията при с.Стоево край Асеновград. В този случай точността, на която може да се разчита е в рамките на 0,3-05 m. В някои от пунктовете, поради липса на пряка видимост към станцията край Асеновград, е приложена последваща обработка с RINEX данни от станцията в Смолян на фирма Навитек. В този случай точността е значително по-добра.

Обикновено за опорни точки се подбират ъгли на антропогенни обекти с правилни геометрични форми, които ясно се разпознават на снимките. Често се използват

североизточните или северозападните ъгли на ниски сгради, като бунгала, гаражи и бараки. Хвърлената сянка на север позволява лесно да се забележат на снимката.

Шест от десетте GPS точки за аеротриангулацията са използвани за опорни точки (GCPs), а другите четири като точки за проверка на точността (Check points). Броят на свързващите точки (Tie points) е значително по-голям – 718. Повечето са генерирани автоматично. Резултатите от съвместното снопово-блоково изравняване са много добри. Сумарната средноквадратичната грешка е 0,59 m – почти колкото е размера на изходното ортоизображение. Средно-квадратичната грешка на опорните точки по **X** е 0,2 m, по **Y** е 0,4 m и по **Z** е 0,5 m. Средно-квадратичната грешка на точките за проверка на точността по **X** е 0,1 m, по **Y** е 1,1 m и по **Z** е 3,1 m. Постигането на малки стойности на грешката не е самоцел. Високата точност е необходима за да може ако се установят различия в местоположението на определени характерни обекти да е сигурно, че те се дължат на преместванията вследствие на свличането, а не поради неточна орторектификация. В тази връзка е необходимо да се отбележи, че реалната точност е по-лоша от параметрите на аеротриангулацията. Тя може да се установи визуално при налагане на две съседни орторектифицирани аероснимки (застъпването е над 60%). Несъответствията между съседните кадри нарастват от центъра към периферията, където може да достигнат няколко метра.

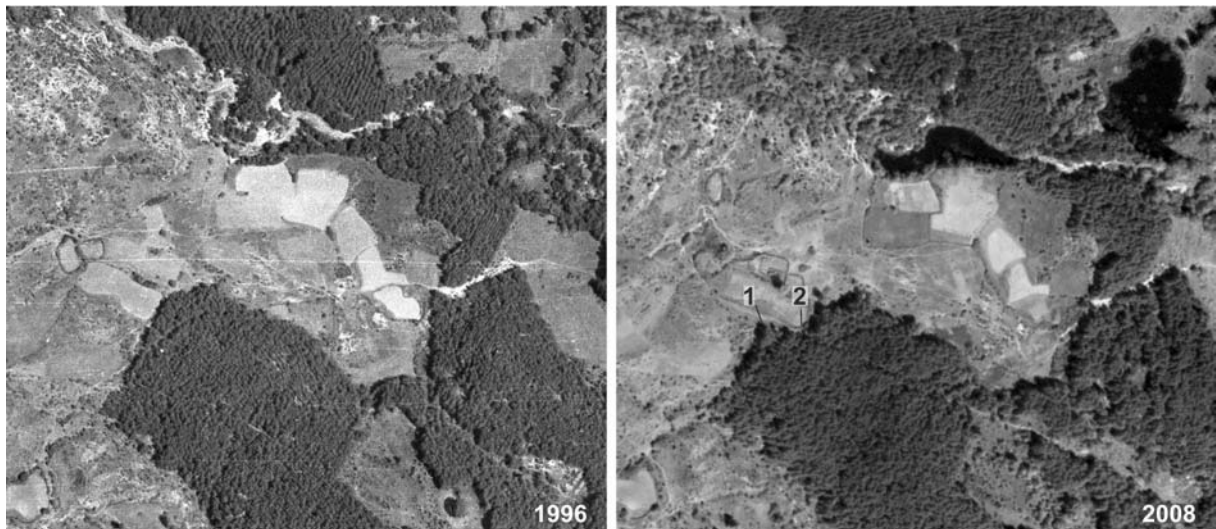
Този недостатък се редуцира в значителна степен при мозайкирането на кадрите и оформянето на общ ортофотоплан, тъй като за него се използват само централните части на снимките, където грешката е минимална. За прокарването на свързващите шевове между отделните кадри първо е приложена автоматичната функция „Weghted Seamline“. След това между някои от кадрите шевът е коригиран допълнително ръчно за да стане по-малко забележим. За тази цел той е прокаран през доливе или тревни площи с равномерна текстура и фототон. За да не си личат местата на свързване, са използвани функциите за цветови баланс чрез изравняване по хистограми и постепенно преливане (feathering) в местата на свързване. Полученият ортофотоплан е с размер на пиксела 0,5 m и е в проекция UTM зона 35.

Орторектификация на сателитното изображение. За да се установи актуалното състояние на терена след свличането е необходимо да се използва ново самолетно или сателитно изображение с много висока разделителна способност. За съжаление дълго време нямаше нито архивни сателитни изображения в каталозите на световните комерсиални дистрибутори като Digital Globe Inc., GeoEye Inc., Spot Image, нито имаше нова аерозаснемане на тази територия. Поръчката на ново заснемане е скъпо и не беше във възможностите на бюджета на договор с фонд НИ НЗ-1514, с чието финансиране се осъществява теренната работа. За щастие благодарение на договора по ЕБР между Института по геоекология при РАН и Института за космически изследвания при БАН беше поръчано и доставено безвъзмездно ново сателитно изображение с пространствена резолюция 0,5 m, заснето от американския сателит World View-1.

Този сателит е изведен в орбита на 18 септември 2007 г. от комерсиалната компания DigitalGlobe. Височината на орбитата е 496 km. При заснемане на надирно изображение размерът на пиксела е 50 cm, а при наклон на оста на обектива 25° той е 59 cm. Изображението за свлачищния район е заснето на 20 август 2008 г. и има размери 8 x 7,9 km. То е чернобяло с дълбочина на цвета 11 бита.

За извършване на орторектификация са използвани 10 опорни точки, всичките измерени с GPS апаратура по време на теренната работа и същия цифров модел на терена. В софтуера ERDAS IMAGINE 9.1. сензорът WorldView-1 не е дефиниран, затова е използван моделът за QuickBird, тъй като и двата сензора са на една и съща компания и са сходни. Сумарната средноквадратична грешка е сравнително голяма – 3,5 m (по **X** е 3,4 m, по **Y** е под 1 - 0,9 m), но тя е изчислена за територията на цялата снимка (над 60 km²), а в района на свлачището гъстотата на опорните точки е по-голяма от периферията и точността на орторектификацията е по-добра.

Построяване на хоризонталните вектори от ортоизображенията. При последователно визуализиране на двете изображения върху монитора се забелязва как на снимката от 2008 г. една част от терена се е преместила на югоизток спрямо местоположението си на аерофотоплана от 1996 г., докато останалата част запазва положението си на двете снимки. Това подсказва идеята, че ако се намери характерен обект, който може да се открие и върху двете изображения и се измери разликата в неговото положение върху двете изображения, може да се измери неговото хоризонтално преместване през периода 1996 – 2008 г. За тази цел се реши да се създаде мрежа от точки, идентифицирани върху двете разновременни изображения и чрез измерване на разстоянията между техните местоположения да се установят параметрите на преместванията в хоризонтално направление. Приложената методика включва следните четири етапа.



Фиг.3. Фрагмент от орторектифицираните изображения с резолюция 0,5 m близо до южния борд на свлачището. Свличането много ясно се идентифицира по разместената западна граница на изкуственото борово насаждение. На лявата снимка тя е почти права, докато на дясната се наблюдава рязка чупка (1), която съвпада с южната граница на свлачището. Разстоянието между точки 1 и 2 е 27 m. В горната дясна част на снимката от 2008 г. се виждат две свлачищни езера. Продълговатото е образувано вследствие преграждането на дерето, а другото поради формирането на обратен на склона наклон.

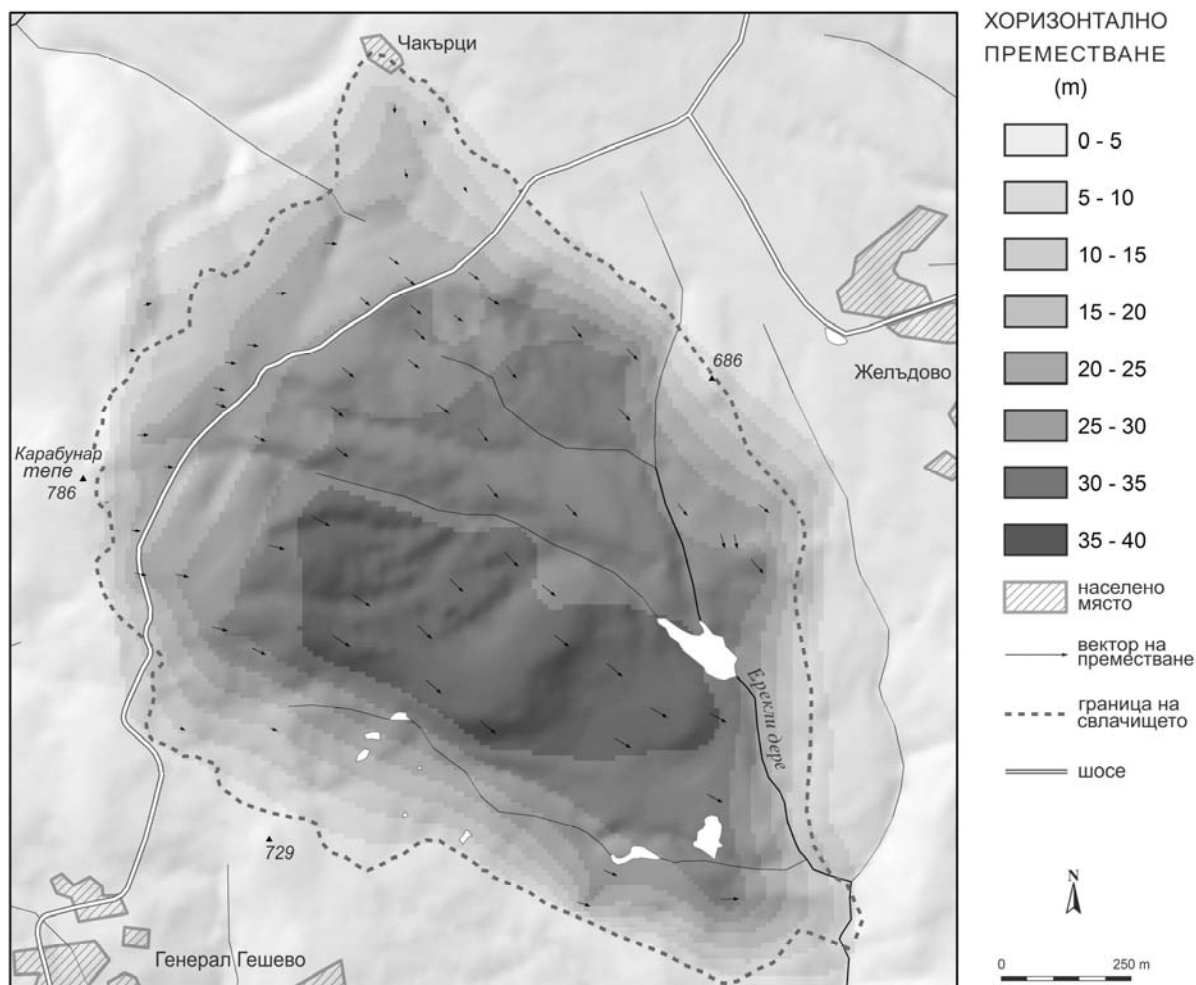
Първо се разпознават идентични обекти върху двете изображения и се нанасят в точков ГИС слой. Всяка точка се индексира с букви и цифра – 1 за положението на точката 1996 г. и 2 за нейното положение през 2008 г. Например А1 е точката, отнасяща се за местоположението на обекта през 1996 г., а А2 е точката, отнасяща се за положението му през 2008 г. След изчерпване на буквите от латинската азбука в индекса се използват по две букви и цифра (АА1, АА2 и т.н.). За по-голяма точност местата на точките се нанасят при значително увеличение – мащаб на прозореца 1:1500 или дори 1:1000. Разпознати и нанесени са местоположенията на 68 обекта. Дългият период от 12 години затруднява намирането на идентични обекти. След свличането теренът е станал по-трудно достъпен и хората са изоставили повечето от нивите и ливадите в обхвата на свлачището. В резултат е започнал процес на обрастване с бодливи храсти като шипка, а също и самозалесяване на фиданки от бял бор.

При *втория етап* се създава нов линеен ГИС слой, в който с вектор се съединяват двете положения на идентичните точки. Индексът на всеки вектор отговаря на буквената част от съставляващата ги двойка точки. Например от точки А1 и А2 се получава вектор А. В ГИС среда автоматично се изчислява дължината на вектора. Този слой може да се използва за създаване на карта с посоките на движения, в която дължината и посоката на всеки вектор показва извършеното движение.

При *третия етап* автоматично се създава точков слой с центроидите на всеки вектор. В атрибутивната таблица има данни за дължината на векторите, които автоматично се прехвърлят и в точковия слой. Извън площта на свлачището се добавят точки, които нямат премествания през изследвания период и съответно имат стойност нула. Това се прави, за да се подобри резултата при последващата интерполация в периферните части на свлачището.

В *четвъртия етап* се извършва интерполация за създаване на GRID слой, илюстриращ величината на деформация в свлачищния район. Интерполацията е направена в ГИС среда чрез използване на техниката Natural Neighbors. Размерът на клетката в растерния слой е 10 m. Картата с този слой и векторите на придвижване в реалния им размер са представени на фиг.4.

Анализ на резултатите. Поради обширността на свлачището при работа на терен трудно може да се определи върнатата посока на придвижване на свлачищните блокове. Досега се считаше, че отделните части на свлачището са се отместили самостоятелно в различни посоки. По-голямата част от свлачището, намираща се на изток от пътя, се е преместила надолу към дерето (на югоизток). А западната по-малка част е с посока на движение на запад-югозапад. Подобни схеми с посоките на придвижване са представени както в публикацията на Спиридонов и колектив [18], така и в публикацията на колектив от Геологическия институт на БАН [19]. Анализът на разновременните снимки обаче показва, че почти цялата свлачищна територия се е преместила на югоизток. Малко по-различна посока се наблюдава на малък участък на запад от пътя за с. Генерал Гешево, където тя е източна. В най-северните части при Чакърци посоката е от север на юг.



Фиг.4. Карта на хоризонталните премествания (m) в свлачищния район, установени чрез дистанционни изображения от 1996 г. и 2008 г. С черни стрелки са показани векторите на придвижване в реален мащаб

Хоризонталните премествания са големи и на места достигат до 40 m. Най-големите хоризонтални деформации се наблюдават на една значителна площ в южната половина на свлачището. Площта, която се е преместила с повече от 30 m заема 40% от свлачището. Придвижването на целия този блок на югоизток е причинило преграждането на Ерекли дере и образуването на езеро със значителна дълбочина. Още по на юг се намира зона, в която се наблюдава постепенно намаляване на стойностите на преместване. Постепенният преход вероятно се дължи на малкото разпознати обекти в тази част на свлачището. Причината е в непостоянния характер на земеползването. Територията представлява мозайка от необработваеми площи и малки градини с ограда от плет, които са непостоянни и няма как да се изобразят и разпознаят на изображения, заснети през 12 години. По всяка вероятност в действителност преходът е по-рязък.

Другото място, където има по-малки премествания и се наблюдава постепенното им увеличение в южна посока е при махалата Чакърци. Там деформациите са по-скоро вертикални, формирайки грабеновидно понижение. Възможно е това да е компенсаторно пропадане, което е станало след отместването на югоизток на блока, разположен по-на юг. Затова и посоката на хоризонталните премествания е север-юг.

Датиране на главното свличане чрез анализ на изображения със средна разделителна способност

Орторектифицираните изображения с висока резолюция от 1996 и 2008 г. позволяват детайлно картографиране на елементите на свлачището, но те отразяват само две крайни състояния, отдалечени във времето близо 12 години. Районът на свлачището беше посетен за първи път в началото май 2001 г., когато основното свличане вече беше осъществено. С цел да се определи кога е станало то, се реши да се направи опит за проследяване динамиката на свлачищния процес чрез използване на изображения с по-ниска пространствена резолюция. За

целта е анализирана серия от сателитни изображения със средна разделителна способност от ресурсния спътник Landsat. Известно е, че съществува обратно пропорционална връзка между пространствената и времевата разделителна способност – изображенията с висока пространствена резолюция имат малка времева и обратното.

Главният проблем, който трябва да се реши, е как да се проследи динамиката, щом на изображенията със средна разделителна способност свлачищните елементи като откоси, пукнатини и други не могат ясно да се изобразят. Свлачищните езера, като всички водни тела, имат специфични спектрални отражателни характеристики, което позволява такива обекти да бъдат разпознавани дори на изображения с по-ниска пространствена разделителна способност, стига да обхващат достатъчно широк диапазон на спектъра. Такива качества притежават мултиспектралните изображения от Landsat, които се заснемат редовно (през 16 дни) и вероятността да се намери снимка на изследвания район без облаци е голяма. Тя дори е и по-голяма, защото на тази географска ширина има застъпване 35% между две съседни ивици, заснети от Landsat. Затова този дял от Източните Родопи може да се наблюдава на сцените с номенклатура Path/Row 182/31 (в западната част на сцената) и Path/Row 183/31 (в нейната източната част).

Изображенията от американския ресурсен сателит Landsat имат пространствена разделителна способност 30 m на повечето си канали. Понастоящем оперират два спътника – Landsat-5 и Landsat-7. Първият носи сензорът TM, състоящ се от 6 канала с резолюция 30 m и един термичен с размер на пиксела 120 m. Вторият е оборудван с подобрения инструмент ETM+, при който термичният канал е с резолюция 60 m. Освен това има панхроматичен канал с резолюция 15 m. След май 2003 г. поради дефект на коректора на сканираните линии (Scan Line Corrector – SLC) от центъра на заснетата полоса към нейната периферия се получават клиновидни ивици без данни.

От края на 2008 г. наличните в архива на Американската геоложка служба (USGS) сцени от спътниците Landsat могат да се теглят през интернет безплатно. Търсенето става в web-базираните каталози на GLOVIS [20] и Earth Explorer [21]. За да се проучи кога започват да се изобразяват свлачищните езера, са подбрани и изтеглени 8 сцени от Landsat-7, обхващащи периода юли 1999 – юни 2001 г (Табл.1). За щастие, тези сцени са заснети преди дефектирането на сензора ETM+. Наличието на пан-хроматичен канал позволява да се извърши операция за сливане на спектралните канали с панхроматичния канал – pan-sharpening. За да се сравни осветяването и засенчването на склона при Ерекли дере при малък ъгъл на слънчевите лъчи, допълнително е изтеглена още една есенна сцена, заснета от Landsat 5 през ноември 1986 г.

Всяка една от изтеглените сцени е подложена на следните операции: изрязване на всички канали във формата на правоъгълник с приблизителни размери 6x7 km за района на свлачището (Subset image), интеграция на спектралните канали в общ мултиспектрален файл (Layer Stacking), сливане на спектралните и панхроматичния канал (Pan-sharpening). Сцените в Earth Explorer са орторектифицирани, така че не е необходима обработка за орторектифициране. За приложение на Pan-sharpening е използван моделът на Gram-Schmidt в софтуерния пакет ENVI 4.6. След извършване на тази операция се получава производно изображение с пространствена резолюция 15 m и диапазон, обхващащ седемте спектрални канала.

Всички природни образувания отразяват по определен начин падналата върху тях слънчева радиация. За всеки материал количеството на слънчевата радиация, която се отразява, пропуска или поглъща зависи от нейната дължина на вълната. Това дава възможност да се идентифицират различните класове и да се отделят чрез техните спектрални криви. Водните повърхности се характеризират с много малка отражателна способност, особено в близката инфрачервена (БИЧ) част от спектъра [22]. Поради тази причина водните обекти се изобразяват на снимките в инфрачервената зона като тъмни петна. Контрастът е толкова голям, че дори водният обект да е с размер само няколко пиксела (2 или 3) той може лесно да се разпознае. Затова за дешифриране на свлачищните езера за визуализация е използвана RGB комбинация с два канала в инфрачервената зона и един в червената (R,G,B–4,5,3).

Като база за сравнение е определена сцената, заснета на 14 юли 1999 г. Тя е избрана, защото освен, че няма никакви облаци, височината на Слънцето е голяма (62° по метаданни), което осигурява добро осветяване и на северните стръмни склонове. На нея не се забелязват никакви езера в обхвата на свлачището (фиг.2). На следващата от подбраните сцени – тази от трети ноември 1999 г. на мястото, където Ерекли дере се слива със съседното дере, идващо от север и където после се наблюдава дълбокото езеро, се забелязва малко продълговато тъмно петно. Възможно е тъмното петно да представлява сянка, поради малкия ъгъл (31°) на слънчевите лъчи през есента. За да се прецени вероятността на това място да се образува естествена сянка, е изтеглена снимка с подобно осветяване, заснета от Landsat-5 на 14

ноември 1986 г. (по-ранни есенни изображения от Landsat-7 няма , защото той е пуснат през пролетта на 1999). Сензорът TM не разполага с панхроматичен канал, така че максималната резолюция, при която може да се наблюдава е 30 m. На синтезираната снимка, макар и по-неясно, се забелязва известно затъмнение, което позволява да се счита, че на 3 ноември 1999 г. там все още не е съществувало езеро.

Табл. 1. Изображения от Landsat, използвани за идентифициране на свлачищните езера и кратко описание на динамиката им

Дата	Path/Row	Описание
7 юли 1999 г.	182/31	Не се забелязват никакви езера в района на свлачището
3 ноември 1999 г.	182/31	Наблюдава се малко тъмно петно на мястото, където е дълбокото езеро при Ерекли дере, но е възможно това да е сянка
22 януари 2000 г.	182/31	Вижда се същото петно, но височината Слънцето е още по-малка
1 март 2000 г.	183/31	Наблюдава се по-голямо петно при Ерекли дере, което определено е воден обект. Като малка точка се вижда едно от плетките езерца на четвъртата свлачищна тераса
2 април 2000 г.	183/31	Езерото при Ерекли дере е станало по-дълбоко и се вижда по-контрастно. Забелязва се и друго по-светло петно по-на юг към Дюзтарла
4 май 2000 г.	183/31	Забелязва се увеличаване на размера на езерата при Ерекли дере и на четвъртата тераса. Нови водни обекти се забелязват на трета тераса.
14 юни 2000 г.	182/31	Забелязва се ново продълговато езеро в дерето северно от Дюзтарла
1 юни 2001 г.	182/31	Има увеличаване на езерата при Ерекли дере и Дюзтарла

Следващата дата, от която има налична безоблачна сцена е от 22 януари 2000 г. Тази сцена е със снежна покривка, което затруднява интерпретацията, освен това тя е заснета при още по-малък ъгъл на слънчевите лъчи (25°). Това дава основание да се предположи, че наблюдаваното на същото място тъмно петно се дължи на засенчване.

Първата сцена, на която със сигурност може да се разпознае езерото (означено с 1 на фиг.5), образувано от преграждането на Ерекли дере е заснета на 1 март 2000 г. На нея също се вижда и една малка тъмна точка, която представлява плитко езерце, намиращо се на четвърта свлачищна тераса (2 на фиг.5). Забелязва се също и леко потъмняване на север от Дюзтарла. По всяка вероятност това се дължи на наличието на по-голямо количество вода там. Свличането е довело до заблאתяване, като водното огледало все още е плитко и се изобразява слабо в БИЧ.

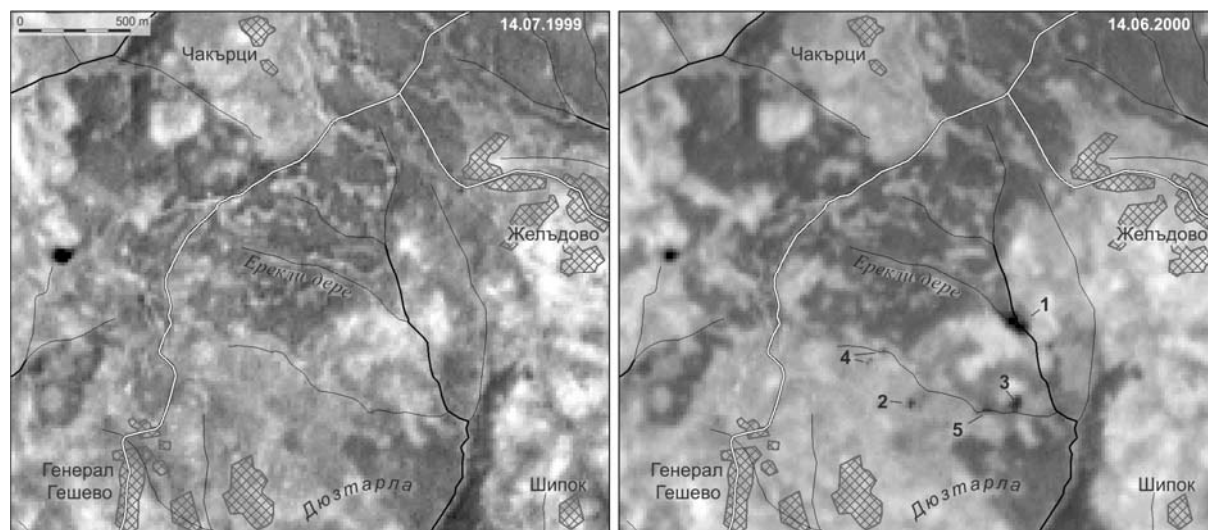
Сцената, заснета един месец по-късно (2 април 2000 г.), показва развитие на свлачищния процес и нарастване размера на езерата и техния контраст на изображенията. Езерото при Ерекли дере се вижда ясно като черно петно, поради увеличаване на дълбочината му и промяна на спектралната му характеристика. Същото се отнася и за езерото, северно от Дюзтарла (3 на фиг.5), което се изобразява като значително по-тъмно петно в сравнение със снимката от началото на март. Възможно е малкото езерце на четвърта тераса да е увеличило дълбочината си, но размерът му е едва няколко пиксела и за него не може това да се твърди със сигурност.

На изображението от 4 май 2000 г. се наблюдава увеличаване на размера на езерото при Ерекли дере и на това на четвърта тераса. Заедно с това се забелязва и появата на няколко не толкова тъмни петна на трета тераса, което е свързано с образуваните там обратни наклони и формирането на плитки блата (4 на фиг.5).

На следващата сцена от 14 юни 2000 г. има известно уплътняване на тъмния контур на езерото при Ерекли дере, което вероятно се дължи на увеличаване на неговата дълбочина. Заедно с това се наблюдава и нарастване на площта на езерото северно от Дюзтарла, а в непосредствена близост до него се открива и нов воден обект. Това е продълговатото езеро, формирано поради преграждането на дерето (5 на фиг.5).

През изследвания период юли 1999 – юни 2000 г. се появяват всичките свлачищни езера. Все пак, за да се провери дали има по-нататъшно развитие, от страницата на GLOVIS е изтеглена още една сцена, заснета една година по-късно – на 1 юни 2001 г. На нея ясно се констатира увеличаване на размера на езерото при Ерекли дере и езерото северно от Дюзтарла. Възможно е това да се дължи на продължаващите движения, които макар и с по-малка интензивност са продължили и през 2001 г., но може да е свързано и с по-големия период, през който се е натрупала повече вода в негативните форми. Само чрез сателитни

изображения със средна разделителна способност това не може да се установи. Чрез тях обаче се определи периодът на главната свлачищна активност – това е първата половина на 2000 г. При сравнение на положението на елементите от рисунъка на изображението се установява, че най-голямото придвижване е осъществено в началото на 2000 г.



Фиг.5. Сателитни изображения на изследвания район от сензора ETM+ на сателита Landsat-7 (сцена 182/31). Първата снимка е представителна за състоянието на територията преди свличането. Втората е заснета 11 месеца по-късно, когато вече са образувани всички свлачищни езера. Изображението е от 4-ти канал на сензора (750-900 nm). В тази зона на спектъра водните обекти имат незначително отражение и се изобразяват като тъмни петна. На лявата снимка единственият открояващ се воден обект е микроязовирът северно от с. Генерал Гешево. На дясната снимка, освен него, много ясно се вижда дълбокото езеро при Ерекли дере (1), а също и езерото на юг от него (3). Плитките свлачищни езерца (2 и 4) и продълговатото езеро по съседното дере (5) имат по-малки размери и по-слаб контраст.

Заклучение

Благодарение на анализа на серия от Landsat ETM+ изображения се установи периодът, когато са станали най-интензивните движения. Въз основа на анализ на промените в местоположението на елементите от рисунъка на изображението може да се каже, че основното движение е осъществено през първата половина на 2000 г. Това коригира досегашната представа, като премества основното свличане малко по-назад във времето. Считаше се, че основната активна фаза на свличане е протекла в края на 2000 г. [23] и дори началото на 2001 г. [15, 19].

Приложената оригинална методика за анализ на разновременни снимки с много висока пространствена резолюция показва, че дистанционните методи може успешно да се използват за количествена оценка на размера на хоризонталните свлачищните движения. Всъщност това е единственият възможен начин да се определят тези параметри, когато трябва да се изследват обширни свлачища в слабо населени местности, където няма подходящи обекти, които да бъдат използвани като репери за повторна триангулация. Остава открит въпросът за площна оценка и картографиране на вертикалните движения. За това е необходимо да се създадат цифрови модели на терена преди и след свличането. Това може да е предмет на бъдеща разработка.

Благодарности

Теренните проучвания и закупуването на архивните аероснимки от ВТС-Троян са финансирани със средства на договор с фонд НИ при МОМН НЗ-1514 „Геоecологично изследване на опасните природни процеси и интегрална оценка на риска за нуждите на регионалното управление”.

Сателитното изображение е осигурено от руските партньори по договора за сътрудничеството с РАН “Геоecологични изследвания на опасни природни процеси с използване на геоинформационни технологии”.

За определяне на координатите на опорните точки е използван GPS приемник, предоставен безвъзмездно от центъра за приложение на спътникови изображения ПЕСАК.

Литература:

1. Crandell, D. R., and Varnes, D. J., 1961, Movement of the Slumgullion earthflow near Lake City, Colorado, *art. 57 in Short papers in the geologic and hydrologic sciences: U.S. Geological Survey Professional Paper 424-B*, p. 136-139
2. Chandler, J.H., M.A.R. Cooper. 1989. The extraction of positional data from historical photographs and their application to geomorphology. *Photogrammetric Record*, 13(73). 1989. pp. 69-78
3. Smith, W., 1993, Photogrammetric determination of movement on the Slumgullion slide, Hinsdale County, Colorado 1985-1990: *U.S. Geol. Survey Open-File Rep. 93-597*, 17p.
4. Powers, P., M. Chiarle, W. Z. Savage. 1996. A Digital Photogrammetric Method for Measuring Horizontal Surficial Movements on the Slumgullion Earthflow, Hinsdale County, Colorado. *Computers & Geosciences Vol. 22, No. 6*, pp. 651-663,
5. Dikau, R., D. Brunsden, L. Schrott, M. Ibsen. 1996. *Landslide Recognition. Identification, Movement and Causes*. John Wiley & Sons. 251 p.
6. Mantovani, F., R. Soeters, C.J. van Westen. 1996. Remote sensing techniques for landslide studies and hazard zonation in Europe. *Geomorphology*, v. 15, 1996. 213– 225.
7. van Westen, C.J., F. L. Getahun. 2003. Analyzing the evolution of the Tessina landslide using aerial photographs and digital elevation models. *Geomorphology*. v. 54. pp. 77–89
8. Walstra, J., J.H. Chandler, N. Dixon, T. Dijkstra. 2007. Aerial photography and digital photogrammetry for landslide monitoring. *In Mapping Hazardous Terrain using Remote Sensing - Special Publication*. v.283. Geological Society Publishing House. pp. 53-63
9. Delacourt, C., Alleman, P., Casson, B., & Vadon, H. 2004. Velocity field of the 'La Clapiere' landslide measured by the correlation of aerial and QuickBird satellite images. *Geophysical Research Letters*, v. 31(15), 15619
10. Chadwick, J., S. Dorsch, N. Glenn, G. Thackray, K. Shilling. 2005. Application of multi-temporal high-resolution imagery and GPS in a study of the motion of a canyon rim landslide. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*. v. 59. 2005 pp. 212– 221
11. Metternicht, G., L. Hurni, R. Gogu. 2005. Remote sensing of landslides: An analysis of the potential contribution to geo-spatial systems for hazard assessment in mountainous environments. *Remote Sensing of Environment*. v. 98 2005. pp. 284 – 303
12. Chen, R.F., K.J. Chang, J. Angelier, Y.C. Chan, B. Deffontaines, C. T. Lee, M. L. Lin. 2006. Topographical changes revealed by high-resolution airborne LiDAR data: The 1999 Tsaoling landslide induced by the Chi-Chi earthquake. *Engineering Geology*. v.88. pp. 160–172
13. Van Den Eeckhaut, M. G. Verstraeten, J. Poesen 2007. Morphology and internal structure of a dormant landslide in a hilly area: The Collinabos landslide (Belgium). *Geomorphology*. v. 89. 2007. pp. 258–273
14. Dewitte, O., J.-C. Jasselette, Y. Cornet, M. Van Den Eeckhaut, A. Collignon, J. Poesen, A. Demoulin 2008. Tracking landslide displacements by multi-temporal DTMs: A combined aerial stereophotogrammetric and LIDAR approach in western Belgium. *Engineering Geology* v.99. 2008. pp. 11–22
15. Кръстанов, М., Н. Добрев, Р. Върбанов, П. Иванов. 2006. Опасни склонови процеси в Източните Родопи, свързани с разломни структури. – В: *Сборник доклади научно-практическа конференция по управление на извънредни ситуации и защита на населението.* "10.11.2005 г., София, стр. 315-321
16. Гиков, А., Х. Спиридонов, Г. Желев. 2010. Изследване на свлачищните процеси между селата Устрен и Генерал Гешево, Източни Родопи В: *Сб. Доклади от шеста научна конференция с международно участие "Space, Ecology, Safety – SES 2010" 2-4 ноември 2010 г. София*
17. ERDAS Imagine Tour Guides - Leica Geosystems Geospatial Imaging. 2006
18. Спиридонов, Х., А. Орев, А. Гиков, Г. Желев, Н. Николова. 2001. Наблюдения върху свлачището при с. Чакърци, Кърджалийско - Източни Родопи. В *сб. Доклади от Балканска научно-практическа конференция "Природният потенциал и устойчивото развитие на планинските райони, Враца, 13-15 юли 2001 г. стр. 465-477*
19. Добрев, Н., М. Кръстанов, Р. Нанкин. 2007. Мониторинг на свлачището при с. Генерал Гешево, Кърджалийска област. – В: *списание "Строителство"*, 5/2007 г., С. с.6-11
20. Web страница: <http://glovis.usgs.gov/>
21. Web страница: <http://edcsns17.cr.usgs.gov/EarthExplorer/>
22. Книжников, Ю. Ф., В.И. Кравцова, О.В. Тутубалина. Аэрокосмические методы географических исследований. М. Академия. 2004.
23. Бручев, Ил., Г. Франгов, Й. Янев. 2001. Катастрофални явления в Източните Родопи. *Минно дело и геология, кн.6, стр. 33-36.*