

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ И КАРТОГРАФИРАНЕ НА РЕЛИКТНИТЕ КАМЕННИ ЛЕДНИЦИ В РИЛА ПЛАНИНА ЧРЕЗ ИЗПОЛЗВАНЕ НА АЕРОКОСМИЧЕСКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

**Александър Гиков, Петър Димитров**

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

**Ключови думи:** *Рила планина, периглациален релеф, дистанционни методи*

**Абстракт:** *В доклада са представени резултатите от първия опит за картографиране на реликтните каменните ледници за цялата територия на Рила планина. Тези форми са материални свидетели на промените, които са настъпили в нашите високи планини в края на плейстоцена и началото на холоцена и са важен елемент от високопланинския периглациален морфоложки комплекс. Освен за възстановяване на палеоклиматичната обстановка, тяхното изучаване дава полезна информация и при опитите за моделиране на бъдещите изменения в природната среда, свързани с климатичните промени.*

*За идентификация на реликтните каменни ледници са използвани чернобели аероснимки и цветни изображения от сателитите QuickBird и SPOT. Създаден е ГИС слой, съдържащ 27 дешифрирани обекта. В атрибутивната база данни има морфометрична информация за всеки обект. Резултатите са представени във вид на карта и таблица.*

## IDENTIFICATION AND MAPPING OF THE RELICT ROCK GLACIERS IN THE RILA MOUNTAIN USING AERIAL AND SATELLITE IMAGES

**Alexander Gikov, Petar Dimitrov**

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

**Keywords:** *Rila Mountain, Periglacial relief, Remote Sensing*

**Abstract:** *The paper presents the results from the first attempt to map the relict rock glaciers on the whole territory of the Rila mountain. These forms of the relief, material witnesses of the changes in our high mountains from the end of Pleistocene and the beginning of Holocene, are an essential element of the mountain periglacial morphological complex. In addition to the paleoclimatic reconstructions, the studies of relict rock glaciers contribute to the attempts for modelling the future environmental changes related with climate changes.*

*To identify relict rock glaciers, panchromatic aerial photos and colour images from QuickBird and SPOT were used. A GIS layer was created, which comprises 27 interpreted objects. The attributive data base contains morphometric information for each object. The results are presented in the form of a map and a table.*

### **Въведение**

Релефът в Рила е извървял дълъг път при своето развитие. Без съмнение най-голяма роля във високопланинския пояс е изиграл периодът, през който планината е била подложена на денудационната дейност на ледниците. След затоплянето в края на вюрма и началото на холоцена, те са се стопили и водеща морфообразуваща роля в този пояс придобиват периглациалните процеси. В резултат е образуван цял комплекс от периглациални форми [1, 2, 3, 4, 5]. Едни от тези форми са каменните (наричани още и скални) ледници.

Каменните ледници са положителни релефни форми, представляващи струпване на груби, неогладени скални блокове във формата на език, запълващ долината или серия от валове в основата на склона. При активните каменни ледници във вътрешността на скалния

блокаж се съдържа лед, който спомага за придвижването на наслагите. Скоростта на придвижване може да е от няколко сантиметра до над един метър годишно [6]. С механизма на това движение е свързана характерната морфология на каменните ледници, изразяваща се най-вече в стръмните им склонове и сложната система от напречни дъгообразни ридове и бразди по повърхността им. Като цяло каменните ледници наподобяват по форма глетчери, от където и идва името им.

Въпреки че през последните години изследванията на каменните ледници се увеличиха значително, образуването им все още може да се счита за дискуссионен въпрос. Съществуват мнения, че те могат да се формират, както при периглациални условия, така и при затрупване с каменни късове на истински ледник в условията на неговата регресия. В първия случай това са т.нар. *каменни ледници с ледена циментация*, а при втория са такива с *ядро от лед* [7]. Тези, които са образувани при деградация на ледници обикновено имат по-продълговата форма и заемат дъното на циркус или трогова долина. Каменните ледници, разположени в подножието на скална стена, обикновено са по-широки и имат изпъкнала форма и са с периглациален произход.

При съвременните климатични условия в алпийския пояс на Рила планина активни каменни ледници не могат да се формират. В планината обаче се откриват множество реликтни каменни ледници. Независимо от това, че Рила планина е била обект на редица геоморфоложки проучвания, в които се обръща сериозно внимание на периглациалния релеф [1, 3, 4, 5], досега не е извършено инвентаризиране и картографиране на каменните ледници на територията на цялата планина. От една страна това се дължи на факта, че те са били определяни погрешно като каменни валове, каменни подкови и каменни езици, без да се изясни истинският им произход. От друга страна тези форми са разположени на труднодостъпни места и обхождането и картирането на цялата територия е свързано със значителен разход на време и средства. Каменните ледници могат успешно да се идентифицират и картографират чрез използване на дистанционни методи [8,9]. **Целта** на доклада е посредством дешифриране на изображения с висока пространствена разделителна способност да се запълни празнината в научното познание относно разпространението на тези форми в Рила планина.

За постигането на тази цел са изпълнени следните три задачи: подбор на подходящи изображения и тяхната предварителна обработка; визуална интерпретация; картографиране и инвентаризиране на идентифицираните обекти.

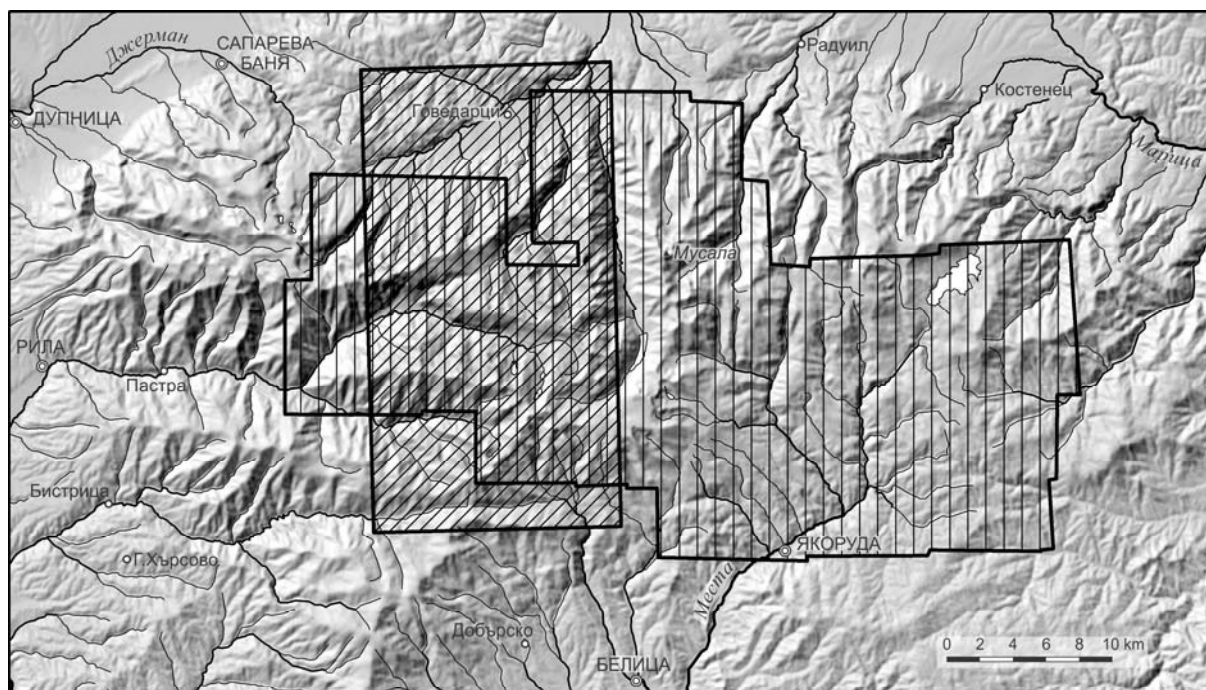
### **Подбор на изображения и предварителна обработка**

За идентифициране на реликтните каменни ледници в Рила планина са използвани аеро-космически изображения с висока и свръхвисока пространствена разделителна способност, които покриват различна територия от планината (фиг.1). Основната част от тях са придобити и обработени от авторите във връзка с изпълнението на предишни задачи по изучаването на Рила планина чрез дистанционни методи [10, 11, 12].

Използването както на изображения заснети от самолет, така и на сателитни изображения има своите предимства и недостатъци. Орторектификацията на сателитните изображения е по-лесна, тъй като една отделна сцена покрива значителна площ. От друга страна, в планинските райони облачността е често явление, така че някаква част от сцената обикновено е покрита с облаци. Цената на сателитните изображения също не е в тяхна полза при сравнение със самолетните. Главното предимство на аероснимките е възможността за стереонаблюдение, което значително подобрява дешифрирането на всякакви релефни обекти. Недостатък е значително по-трудната им обработка при орторектификация.

Сцената от американския комерсиален сателит QuickBird представлява ивица с направление север – юг и ширина 15 km в централната част на планината (фиг.1). Изображението е заснето на 16 август 2007 г. и се отличава с високо дешифровъчно качество. Орторектифицирано е като единичен кадър, след което е извършена операция за сливане на панхроматичния канал със спектралните канали – *pan-sharpening*. Приложен е алгоритъмът Gram-Schmidt Spectral Sharpening в софтуера ENVI 4.6. Пространствената разделителна способност на цветното изображение е 0,6 m.

Аероснимките, използвани за идентификацията на каменните ледници в Рила, са заснети през юли 1988 г. с рамковата камера Wild RC-10. Камерата има фокусно разстояние 152,77 mm и размер на кадъра 23x23 cm. Орторектификацията им е извършена като се използват предимствата при обработката им като фотограметричен блок. Не всички кадри са обработени наведнъж като един блок, тъй като орторектификацията е правена в различни години за изпълнението на различни задачи.



Фиг. 1 Обхват на аероснимките от 1988 г. и сателитното изображение от 2007 г., използвани за идентифициране на реликтните каменни ледници в Рила планина

Използваните изходни материали също не са идентични. По-голямата част от блока е съставена от кадри, които представляват сканирани хартиени копия. Както е известно, при фотограметричната обработка за предпочитане е да се използват негативите, защото при тях параметрите на вътрешното ориентиране са еднакви с параметрите на камерата, докато при хартиените копия те се различават в някаква степен. Хартиените копия обаче са част от архивът, който съществува в секция Дистанционни изследвания и ГИС и бяха сканирани във връзка с изпълнението на задачите от договор с фонд НИ за изграждане на научна инфраструктура [13]. За един малък район в Мальовишкия дял на Рила планина бяха закупени сканирани негативи от ВТС – Троян с цел извършване на прецизна орторектификация и проследяване във времето на промените на земното покритие [11]. Общата площ, която покриват двата блока е над 880 km<sup>2</sup> (фиг. 1). Освен чернобелите снимки от камерата Wild RC-10, за района на Седемте езера са използвани и кадри от многозоналната камера МКФ-6, заснети на 20 октомври 1977. Те не са орторектифицирани, а са ползвани само като източник за дешифриране.

Останалата част от Рила е покрита със сателитни изображения от SPOT с пространствена разделителна способност от 2,5 m. Въпреки значително по-малката резолюция, на тези изображения също е възможно да се идентифицират реликтни каменни ледници. Разбира се в местата, където са налице снимки с по-висока резолюция, те са използвани приоритетно.

### Визуална интерпретация

За идентификацията на реликтните каменни ледници в Рила е приложено дешифриране чрез използването на основните преки дешифровъчни признаци, като *форма*, *размер*, *рисунок* и *сянка*, а също и косвени дешифровъчни признаци, като *местоположение*.

Формата е основен дешифровъчен признак [14, 15]. Като цяло може да се каже, че каменните ледници по-често се характеризират с издължена форма и неправилни очертания.

Каменните ледници като тримерни форми най-ясно се разпознават при стереонаблюдение. Реликтните каменни ледници запазват характерните морфологични белези на активните форми, но като цяло са с по-меки очертания и не толкова стръмни склонове. Постепенно между скалните блокове се натрупва ситнозем и се появява растителност. Тя до известна степен маскира морфологията на каменния ледник и може да затрудни неговото разпознаване. Стереонаблюдението се извършва чрез стереоскоп на хартиените снимки, където се разпознават реликтните каменни ледници, а оконтуряването им се извършва върху орторектифицираните изображения.

Размерите на обектите от местността се използват като дешифровъчен признак в съчетание с тяхната форма. Размерите на реликтните каменни ледници в Рила планина са от порядъка на неколкостотин метра (Табл.1). Дължината им е между 100 и 800 m, а ширината им е от 100 до 575 m.

Сянката като дешифровъчен признак подпомага обемното възприемане на каменните ледници и в този смисъл допълва представата за формата. Чрез различното осветяване на северните и южни страни на каменните валове, които са характерни за морфологията на каменните ледници се улеснява разпознаването на тези форми.

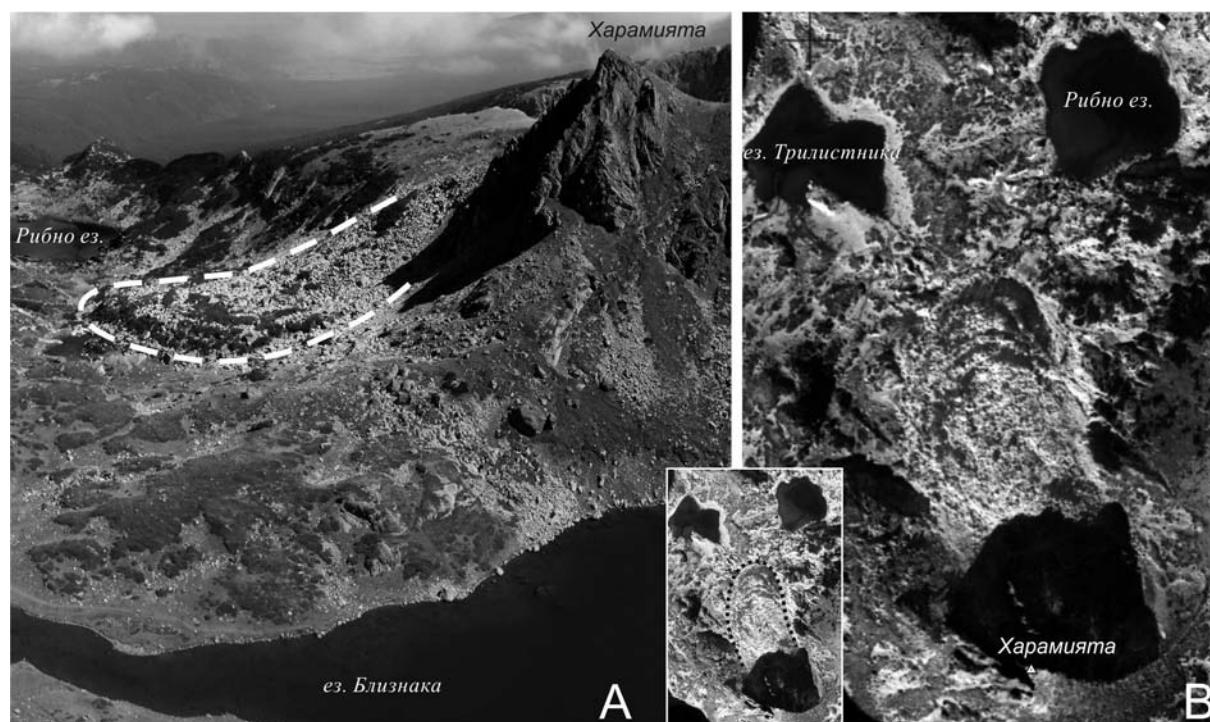
Рисунъкът е сложен дешифровъчен признак, който свързва всички преки признаци. Той се определя от строежа, очертанията и взаимното разположение на обектите. С други думи, рисунъкът е отражение на хоризонталната ландшафтна структура. Реликтните скални ледници притежават специфична топография, която в съчетание с растителната покривка създава характерна мозайка в ландшафта. Тази особеност се наблюдава добре на аероснимки и се използва при картирането на ландшафтната структура [16].

Специфична особеност, по която може да се разпознае реликтния каменен ледник е наличието на лентовиден рисунък на растителността. Често лентите са с характерна извивка във формата на дъга (фиг.2 и фиг.4). Друга особеност, която е присъща за каменните ледници без растителна покривка е грапавата текстура на изображението, която се дължи на безразборно разхвърляните скални блокове. Тя се забелязва при увеличение на аероснимките и на сателитните снимки от QuickBird, но не винаги и затова не може да се използва като самостоятелен дешифровъчен признак, а само в комбинация с другите признаци, защото може да се допусне смесване със сипеите.

Местоположението е важен косвен дешифровъчен признак, по който може да се разпознаят реликтните каменни ледници. Каменните ледници винаги се намират в циркусите или в долините и в съседство със скални стени и сипеи.

#### Картографиране на реликтните каменни ледници

Тъй като използваните изображения са орторектифицирани, векторизирането на контура на всеки разпознат обект в ГИС среда позволява директно да се създаде слой с идентифицираните върху снимките каменни ледници. Заедно с оконтурирането на полигона в атрибутивната база данни (БД) е попълнена информация за морфометрията и местоположението на всеки обект (табл.1). Карта на високопланинската част на Рила с идентифицираните реликтни каменни ледници е представена на фиг. 3.



Фиг. 2. Снимки на реликтния каменен ледник под връх Харамията в циркуса на Седемте езера. **А** – поглед от югозапад: вижда се северната стена на Харамията, която е източник на колувиален материал; **В** – аероснимка от камерата МКФ-6

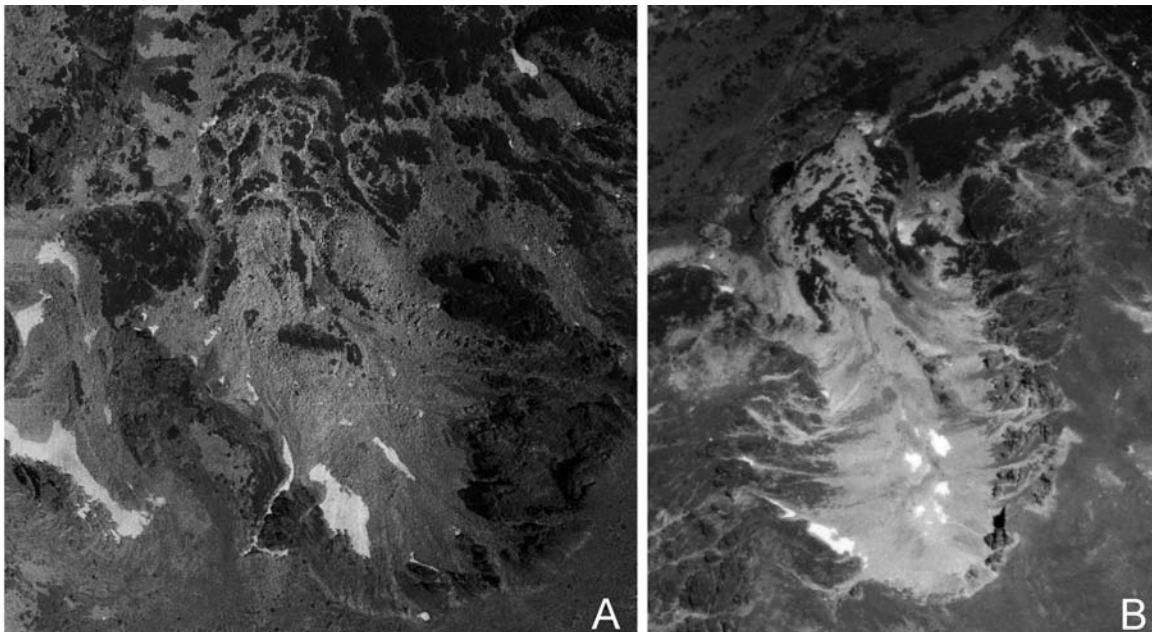


Фиг. 3. Карта на идентифицираните реликтни каменни ледници в Рила планина  
 Характеристикиите на всеки обект са представени в табл. 1.

Табл.1 Морфометрична характеристика и местоположение на идентифицираните реликтни каменни ледници в Рила планина (номерата на обектите съответстват на картата на фиг.2)

№	Дължина (м)	Ширина (м)	Надмор-ска височина (м)	Изложение	Площ (кв. м)	Площ (ha)	Дял на Рила	Местоположение
1	325	220	2200-2300	NW	55292,4	5,5	Северозападна Рила	В циркуса на Седемте езера
2	400	360	2340-2380	N	112369	11,2	Северозападна Рила	В циркуса на Горна Прека река под връх Ловница
3	240	115	2470-2570	N	30422,8	3	Северозападна Рила	Между вр. Голям Купен и Страшното езеро
4	250	185	2330-2380	NW	37146,1	3,7	Северозападна Рила	В долината на Долна Прека р. под Поповокапския превал
5	200	180	2367-2400	N	26278	2,6	Северозападна Рила	В Лопушкия циркус, южно от Лопушкото езеро
6	300	120	2320-2440	NW	40089,8	4	Северозападна Рила	В Лопушкия циркус по северозападния склон на Лопушки
7	130	180	2350-2400	NE	23169,7	2,3	Северозападна Рила	На 500-600 m североизточно от Лопушки връх
8	450	310	2190-2290	N	97322,5	9,7	Северозападна Рила	На около 1 km североизточно от Лопушки връх
9	865	300	2140-2350	NW	206251	20,6	Северозападна Рила	На запад от вр. Мечит
10	440	290	2215-2340	NE	108301	10,8	Централна Рила	На изток от вр. Малък Скакавец
11	220	130	2450-2540	NE	27433,8	2,7	Централна Рила	На около 500 m южно от вр. Голям Скакавец
12	100	210	2414-2450	N	16364,3	1,6	Централна Рила	На около 700 m югоизточно от вр. Голям Скакавец
13	350	120	2220-2330	W	38507,7	3,9	Централна Рила	По западния склон на Черна поляна
14	180	180	2390-2490	NW	25665,9	2,6	Централна Рила	На северозападния склон на вр. Реджепица
15	170	170	2490-2550	SE	20536	2,1	Централна Рила	Във Вапския циркус
16	190	210	2420-2440	S	30318,9	3	Централна Рила	На югоизток от вр. Реджепица
17	230	500	2280-2380	NE	85677,1	8,6	Централна Рила	Във Вапския циркус
18	220	150	2340-2400	NE	25263,8	2,5	Източна Рила	Соленото дере
19	150	220	2410-2440	N	25405,2	2,5	Източна Рила	До Каракашевото ез. в Мусаленския циркус
20	210	260	2600-2690	N	34732,4	3,5	Източна Рила	На второто стъпало в Мусаленския циркус на 500 m северно от вр.
21	410	235	2460-2560	E	69717,8	7	Източна Рила	В циркуса на Тъмното езеро под вр. Малка Мусала
22	450	180	2310-2440	N	86888,1	8,7	Източна Рила	В Маричиния циркус северно от вр. Манчо
23	125	130	2360-2370	SE	13976,4	1,4	Източна Рила	До Синьото Якорудско ез. на 900 m югоизточно от вр. Суха Вапа
24	165	530	2260-2380	N	56771,6	5,7	Източна Рила	В подножието на вр. Курджилъка (Стражник), в циркуса на М. Баненска
25	200	575	2186-2360	NE	77954,1	7,8	Източна Рила	На изток от Лопатишки вр.
26	525	235	2170-2290	N	95539,5	9,6	Източна Рила	На около 1 km североизточно от вр. Белмекен
27	250	410	2150-2250	NE	69182,4	6,9	Източна Рила	На североизток от Ортачал II (Средни връх)

Картографирането е извършено върху обработените снимки, но установяването на генезиса на някои форми е извършено при теренна работа. Такъв пример е реликтният каменен ледник в началото на Соленото дере (№18 в табл.1 и Фиг.3). Поради значителната клекова покривка в долната му част неговото еднозначно разпознаване върху изображенията е трудно.



Фиг. 4. Фрагменти от аероснимки (1988 г.) с изображения на реликтни каменни ледници. А – каменният ледник на североизток от Лопушки връх в циркуса на Жълтия гьол (№8 от табл.1); В – каменният ледник северно от вр. Манчо (№22 от табл.1). Забелязва се езиковидната форма и лентовидният рисунък на растителността. На лявата снимка по-ясно се виждат характерните за повърхността бразди и ридове.

Общият брой на идентифицираните реликтни каменни ледници е 27, а общата им планиметрична площ възлиза на 153,5 ha. Ако се направи регионализация по дяловете на Рила планина се вижда, че най-голям брой са открити в Източна Рила – 10. В северозападния дял има 9, а в централния дял – 8. Ако се разгледат в зависимост от заемащата площ на първо място се нарежда Северозападна Рила (62,6 ha), което се дължи на по-големите размери, които имат тези форми в този дял на планината. В източния дял на Рила общата площ на идентифицираните каменни ледници е 55,6 ha, а в централния дял на планината е 35,3 ha. В Югозападна Рила не е открит нито един реликтен каменен ледник, което по-всяка вероятност се дължи на по-малката надморска височина на този дял.

Най-голям, както по площ (20,6 ha), така и на дължина (865 m), е реликтният каменен ледник, намиращ се на запад от връх Мечит (№9 в табл.1). В същия дял на планината, на около 5 km по-на запад под връх Ловница, се намира друг каменен ледник със значителен размер (№2 в табл.1), чиято площ е 11,2 ha. Третият по площ каменен ледник се намира в централния дял на Рила и е разположен в циркуса между върховете Малък и Голям Скакавец (№10 в табл.1). Останалите идентифицирани форми имат площ по-малка от 10 ha.

При анализ на разпределението на откритите каменни ледници, в зависимост от тяхното изложение, се установява, че от общо 27 обекта 22 имат северна компонента на изложението си, което е очаквано. Десет от каменните ледници имат северно изложение, тези със североизточно са 7, а тези със северозападно – 5. Въпреки че не би следвало южното изложение да спомага за формирането на каменен ледник, нашето изследване установи и един такъв – този под връх Реджепица (№16 от табл.1).

Въз основа на пропорцията между дължината и широчината си реликтните каменни ледници в Рила може да се разделят на такива с издължена езиковидна форма и такива, при които ширината е по-голяма от дължината и имат изпъкнала форма. Първите преобладават както като брой (18), така и като големина. При шест от тях дължината е повече от два пъти по-голяма от ширината, а при два (№9 и №13 от табл.1) тя е близо три пъти по-голяма.

Независимо че не е предмет на този доклад, въз основа на морфометрията, местоположението и морфологията на някои от големите и продълговати каменни ледници, като тези под върховете Мечит, Ловница и Манчо, би могло да се направи предположение, че са възникнали при отдръпването на ледниците в края на вюрма и затрупването им със скален материал – т.е. по време на активната им фаза са били от типа с ледено ядро. Този въпрос обаче изисква специално внимание и предстои да бъде изяснен в бъдеще.

### Заклучение

Докладът представлява първият опит за картографиране на реликтните каменни ледници на цялата територия на Рила. Въпреки че дистанционните методи са много мощен инструмент за идентифицирането и картографирането на тези геокриогенни форми, по



различни причини (неподходящ ъгъл на осветление или плътна растителна покривка) някои от тях може да се убягнали при дешифрирането на снимките. Възможен е и другият вариант – някои обекти при теренна проверка да се окажат с различен произход и да отпаднат от списъка на реликтните каменни ледници в Рила.

В края на вюрма става стопяване на долинните ледници в Рила планина. Някои от тях се трансформират в каменни ледници и продължават своето съществуване под тази форма още известно време. Поради криогенните условия на други места се формират нови каменни ледници, заемащи подножията на стръмни склонове.

Авторите не считат, че с този доклад въпросът за изучаването на реликтните каменните ледници в Рила планина е приключен, по-скоро докладът би трябвало да се разглежда като първа стъпка към тяхното детайлно проучване. В близко бъдеще се предвижда подобно изследване да се проведе и в другата висока българска планина – Пирин.

### Благодарности

Осигуряването на използваните изображения е със средства от договор с МОН НИК-03/2007 "Изграждане на научно-информационен комплекс за аерокосмически полигони на територията на Р България"

### Литература:

1. Гловня, М. 1958. Геоморфоложки проучвания в югозападния дял на Рила. Год на СУ, БГГФ, т. 51. кн. 3. с. 70-173
2. Гловня, М. 1959. Относно периглациалния релеф в България. Известия на БГД, кн. II (XII). с. 15-23
3. Гловня, М. 1962. Принос към изучаване на периглациалната морфоскулпура в Рила. Известия на БГД, кн. III (XIII). с. 47-55
4. Гловня, М. 1968. Глациален и периглациален релеф в южния дял на Средна Рила. Год на СУ, ГГФ, т. 61. кн. 2. с. 37-66
5. Велчев, А. 1999. Глациален и криогенен релеф в част от Мусаленския дял на Рила. Год на СУ, ГГФ, кн. 2, т. 89, с. 7-21
6. Berger, J., K. Krainer, W. Mostler. 2004. Dynamics of an active rock glacier (O'ztal Alps, Austria). *Quaternary Research* 62: p. 233–242
7. Hamilton, S. J., W. B. Whalley. 1995. Rock glacier nomenclature: A re-assessment. *Geomorphology*, 14: 73-80
8. Johnson B. G., G. D. Thackray, R. Van Kirk. 2007. The effect of topography, latitude, and lithology on rock glacier distribution in the Lemhi Range, central Idaho, USA. *Geomorphology* 91: 38–50
9. Angillieri, María Yanina Esper. 2009. A preliminary inventory of rock glaciers at 30°S latitude, Cordillera Frontal of San Juan, Argentina. *Quaternary International* 195: 151–157
10. Гиков, А., К. Стефанов. 2006. Използване на аероснимки за картографиране на ландшафтите в планински територии - В: Сб. Доклади от втора научна конференция с международно участие "Космос, Екология, Нанотехнологии, Сигурност", ИКИ - БАН, Варна,
11. Гиков, А., П. Димитров. 2009. Приложение на геоинформационните технологии за оценка на щетите и последиците от големия пожар в района на х.Мальовица, Рила планина. В: Сб. Доклади от пета научна конференция с международно участие "Space, Ecology, Nanotechnology, Safety – SENS 2009" 2-4 ноември 2009 г София. с. 150-159
12. Gikov, A. N. Nikolova. 2009. Application of Remote Sensing Data to Assess the Big Fire in the Rila Mountain of September. В: Сб. Доклади от Международна научна конференция 3-6 юни 2009 г. Благоевград, Математика и природни науки, Югозападен университет „Неофит Рилски“. Том 2. с. 287-293
13. Roumenina, E., A. Gikov H. Lukarski, V. Naydenova, G. Sotirov, G. Jeleu, L. Filchev, L. Kraveva, S. Fotev, M. Cherveniyashka, P. Dimitrov, V. Kazandzhiev, N. Valkov. 2008. Establishment of a Scientific-Information Complex for Aerospace Test Sites on the Territory of the Republic of Bulgaria. Proceedings of the Fourth Scientific Conference with International Participation "Space, Ecology, Nanotechnology, Safety – SENS' 2008", June 2008, Varna, Bulgaria. pp. 106-112
14. Желязков, Й., Ю. Тепелиев. 1992. Фотограметрия и дистанционни методи. С. Мартилен, 250 с.
15. Смирнов, Л. Е. 2005. Аэрокосмические методы географических исследований. СПб, Изд. С.-Петербургского университета, 348 с.
16. Boltziar, M. 2009. The spatial patterns of the Tatra high-mountain landscape structure. *Landform Analysis*, Vol. 10, pp.11–17