

Климатични фактори за междугодишната динамика на микроледник Снежника в Пирин

Емил Гачев

Югозападен университет „Неофит Рилски“
Благоевград, ул. „Иван Михайлов“ №66
e-mail: emil.gachev@swu.bg

Абстракт: Снежника под вр. Вихрен е официално признат за най-южно разположената глациална маса в Европа. Съгласно изследванията, провеждани се активно от 2006 г. насам, това е форма от категорията „микроледник“ и има перманентен характер. Наблюдения на промените в големината на микроледника се правят от 1994 г. и ежегодно от 1998 г. насам, през есента, в края на аблационния сезон и на балансовата година. В последните 22 години големината на Снежника е била между 0,30 и 0,77 ха, със съществени вариации от година на година. Направеният анализ показва съществена връзка на тези колебания с климатичните фактори, както и известни особености, като например липсата на дългосрочни тенденции в развитието на микроледника в последните две десетилетия на фона на едно доказано повишаване на температурата на въздуха.

Ключови думи: Пирин, микроледник, Снежника, климат

Въведение

Значителното намаляване на обхвата и обема на ледниците в почти всички части на света в последните десетилетия е във фокуса на вниманието на научната общност и на обществото като цяло. Причината - повишаване на средните температури на въздуха, известно още като глобално затопляне. Във връзка с този феномен на най-новите времена хората си задават редица въпроси. Най-важните сред тях са: 1) Как ще се променя климатът в близкото бъдеще?, и 2) Как природата и обществото ще се адаптират към новите условия?

Ако искаме да намерим отговор на тези въпроси не е достатъчно да отчитаме промяната в глобалните показатели на климата, тъй като Земята е една твърде сложна система, и различните ѝ части реагират нееднозначно на промените. За цялостното разбиране на процесите са нужни регионални и локални изследвания. Наличието на ледници на най-разнообразни географски ширини и дължини дава тази възможност на глациолозите.

Ледниците са сред най-динамичните индикатори на краткосрочните климатични колебания. Съществуването им се определя от начина, по който климатични фактори и топография се съчетават на всяко място. В краткосрочен план релефът се изменя слабо, а значителните колебания в площта и обема на ледената маса, които се наблюдават за периоди от една до няколко години, са резултат от вариациите в климата.

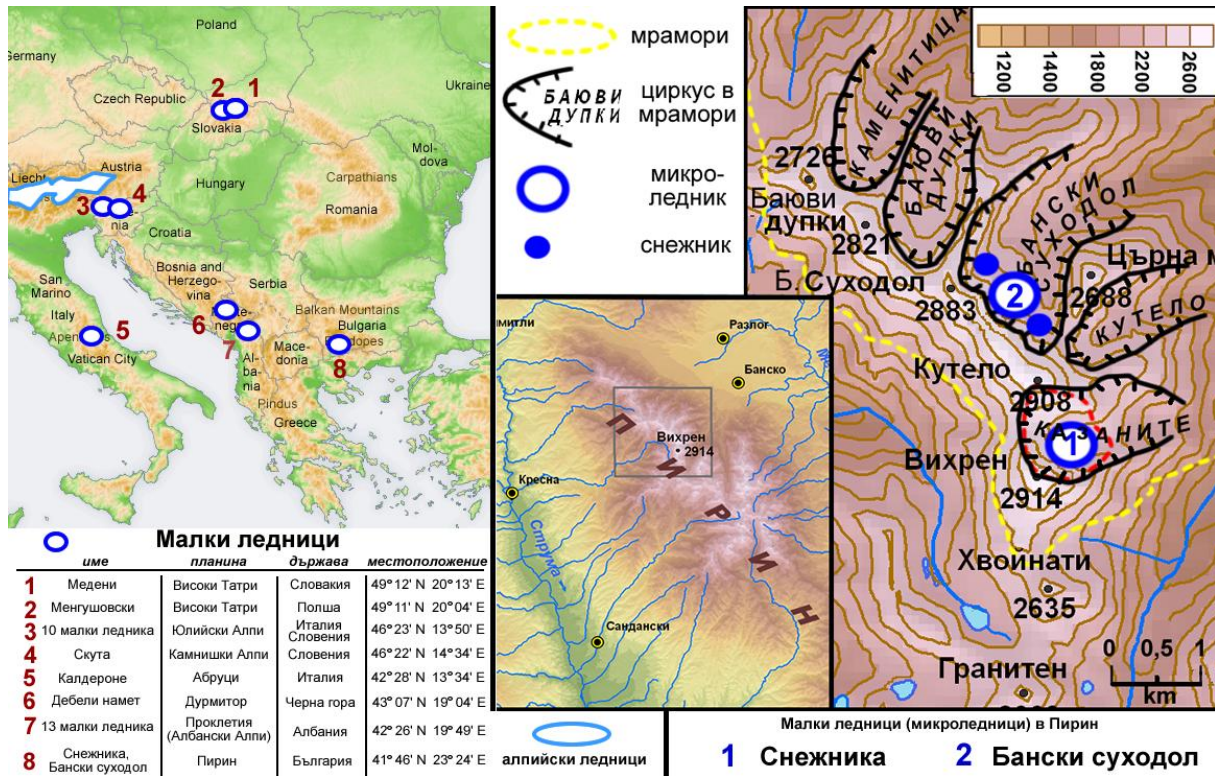
Микроледниците (*sensu* Grunewald and Scheitchauer, 2008, 2011), наричани още и *малки ледници*, са твърде малки по размер тела от сняг, фирн и лед с площ от половин хектар до няколко хектара и дълбочина от няколко метра до няколко десетки метра. По своята същност обаче те са съвременни ледникови форми, тъй като притежават две характеристики, присъщи за ледниците: 1) постоянни са във времето, тоест, не са достигали пълно стопяване в последните няколко века; и 2) фирново-ледената маса в тях извършва бавно постъпателно движение под действие на собствената си тежест. Малки ледници съществуват в много от високите планини на света, в редица случаи на места, разположени под снежната граница, поради наличието на благоприятни микроклиматични условия – в негативни релефни форми с голяма засенченост, много снежни валежи през годината, както падащи директно от атмосферата, така и получени под формата на лавини или пренавяти от вятъра.

В Югоизточна Европа вече са познати и изучени доста на брой малки ледници (фиг. 1). Такива са установени в югоизточната ниска периферия на Алпите – в Карнийските Алпи (Hoerwarter, 2013), Юлийските Алпи (Carturan и др., 2013; Colucci, 2016; Colucci и др., 2015, Triglav-Cekada, 2012, Triglav-Cekada и др., 2012), Камнишките Алпи (Pavšek, 2004, 2007), в Гран Сасо в Апенините (Smiraglia и Veggetti, 1992, D’Orefice и др., 2000; Rovelli, 2006; Pecci и др., 2008), във Високите Татри (Gądek, 2008, Gądek и Kotyba, 2003, 2007), а на Балканския полуостров – в планините Дурмитор (Черна гора), Проклетия (Албания) и Пирин (България) (Grunewald и др., 2006; Grunewald and Scheitchauer, 2008, 2011; Груневалд и др., 2008; Milivojević и др., 2008; Hughes, 2007, 2008, 2009; Kern и др. 2002, Djurović, 1999, 2012; Gachev, 2009, 2011, Gachev и Stoyanov, 2012, 2013; Gachev и др., 2009, 2016, Гачев и Гиков, 2010, Stoyanov и Gachev, 2013). Малките ледници в нашата част на света се отличават с два сезона в своя годишен цикъл – акумулационен (на натрупване) от ноември до април, и аблационен (на топене) от май до октомври. В края на аблационния сезон площта и обема на малките ледници достигат своя годишен минимум, поради което този момент се счита за край на балансовата година и е най-добър за измервания и наблюдения.

В северната, изградена от мрамори най-висока част на нашата Пирин планина, е установено съществуването на два микроледника: *Снежника* (в циркуса Големия Казан под вр. Вихрен) и *Бански суходол* (под северната стена на ръба Кончето) (фиг. 1). Микроледник Бански суходол е около два пъти по-голям по площ, но е по-трудно достъпен. Надморската му височина е 2610-2700 m. Снежника е по-добре проучен поради удобното си местоположение в непосредствена близост до пътеката от х. Бъндерица за вр. Вихрен.

Ледниковото естество на споменатите форми е доказано при досегашните изследвания. Направеният от немския изследовател К. Груневалд и неговите колеги сондаж на микроледник Снежника през септември 2006 г. достига сипеиното дъно на дълбочина 11 m. От 9,5 m надолу е установен многогодишен лед с плътност 0,9 kg/l, а органични частици от 10,5 m дълбочина, датирани с радиовъглероден метод, показват възраст от между 92 и 204 години (Груневалд и др., 2008). През октомври 2012 г. при предния край (челото) на фирновото тяло в циркуса Бански суходол Е. Гачев и К. Стоянов установиха повърхности на основна скала (мрамор) със следи от свежа глациална шлифовка (Гачев, 2014; Gachev et al., 2016) – доказателство за наличие на гравитационно движение.

Настоящата статия представя опит за свързването на получените резултати от дългогодишните наблюдения на микроледник Снежника в Пирин (които в периода 2008-2015 са извършвани с участието на автора) с характеристиките на климата в последните две десетилетия.



Фигура. 1. Малки ледници в Югоизточна Европа и в Пирин

Микроледник Снежника

Микроледник Снежника се намира на 2400-2450 m н. в. в подножието на 450 метровата североизточна стена на вр. Вихрен, в дъното на циркуса Големия Казан. Разположен на 41°46'09" северна ширина и на 23°24'10" източна дължина, понастоящем Снежника е признат за най-южно разположената глациална маса в Европа (Grunewald and Scheitchauer, 2010), след стопяването на ледника Корал дел Велета в Сиера Невада (Испания) през второто десетилетие на XX в.

Микроледникът е в задния край на най-дълбоката част на циркуса (фиг. 2). Има източна експозиция и лежи непосредствено в основата на високата скална стена, която най-общо има североизточно изложение и поради извития си профил е известна като „фунията“ (Попов, 1962). Стената е набраздена от няколко дълбоко кородирани скални пукнатини (кулоари). Микроледник Снежника има най-общо форма на четириъгълник - трапец. В периода на годишен минимум (IX - XI) той има дължина (от запад на изток) около 90-100 m, ширината му в горния край (при скалната стена) е около 90 m, а в



долния край се стеснява до около 30–40 m. Всяка година тези размери се различават (най-малка е вариацията на ширината в горния край). Обикновено в долната част фирновата повърхност има наклон 15–20°, а в горния до 35–40°. Намалването на площта на Снежника в по-сухи и топли години се изразява преди всичко в отстъпване на долния край и заостряне на очертанията на фирновото тяло подобно на рицарски щит, като общият наклон на повърхността става по-голям. Нарастването в размерите води до по-трапецовидна форма и по-малък наклон, особено в долната част. Дебелината на снежно-фирновата маса също показва значителни вариации през годините. Тя е максимална в средната част от горната половина на микроледника. При своите изследвания Попов (1964) докладва дълбочина от 8 m, а Груневалд и др., (2008) -

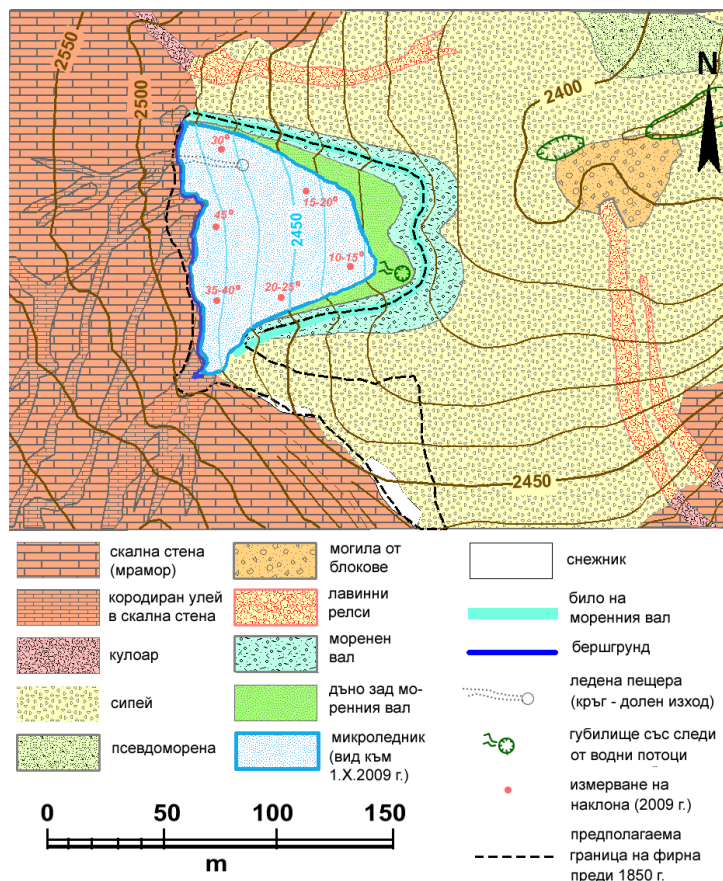
11 m. В задния си (горен) край на Снежника дебелината също е значителна. Обикновено между фирна и скалната стена има голяма пукнатина (бершгруд). Колебанията в нивото при задната стена достигат до 7-9 m между две есенни измервания, а общата амплитуда за всички наблюдения е над 10 m.

В северозападния край на Снежника периодично се образува пещера. Следи от такава личат на снимките от 2008, 2010, 2012 и 2014 г. Тъй като пещерата се формира през лятото от поройните води и периодично се продължава, вероятно тя не се запълва изцяло от падащите през зимата снегове, а остава във вид на затворена отвън кухня във фирновото тяло, и това от своя страна способства за лесното ѝ повторно отваряне при обилно топене. За периода на нашите наблюдения най-голяма беше ледената пещера след рекордно топлото лято на 2012 г. В края на октомври пещерата имаше височина 1,5–2,5 m, ширина до 3 m и дължина 25 m, като преминаваше цялото тяло на Снежника от горния до долния му край.

От север, изток и юг Снежника е ограден с добре оформен моренен вал от груби несортирани мраморни късове с относителна височина до 4 -5 m. Въпреки че част от изграждащия го материал е срутищен, валът се приема за моренен поради това, че се е оформил в сегашния си вид предимно под въздействие на фирновото тяло (Grunewald, Scheitchauer, 2008, 2011, Gachev и др., 2009, 2016 и др.). Морената загражда падината, в западната част на която лежи микроледникът. По-ниският източен край на понижението е оголен и покрит със сипеен материал. Най-ниската точка е на югоизток, непосредствено до моренния вал. Там има губилище, в което понират водите от топенето на микроледника през аблационния сезон.

Изследвания на Снежника

Начало на изследователската дейност в Големия Казан поставя ст. н. с. Владимир Попов от Географския институт при БАН. Във връзка с Третата международна геофизична година (1957 г.) той извършва подробно проучване на геоморфологията на циркуса и полустационарен мониторинг на Снежника в периода 1957-1961 г. За целта се изгражда малка дървена постройка на възвишение над циркусния праг на 2445 m н. в. (сега туристически заслон „Казана“), оборудва се климатична станция с термометрична клетка и тотализатор за измерване на валежите. Резултатите от тези изследвания са подробно представени в две публикации (Попов, 1962, 1964). Проучванията на Снежника са подновени в края на XX век от германски учени от гр. Дрезден. Те измерват площта на фирновата повърхност през м. септември в годините 1994, 1996 и без прекъсване от 1998 до 2007. През IX. 2006 г. правят три сондажа, като изследват свойствата и химичния състав на леда, и датират с радиовъглероден метод органични частици от фирна и ограждащия го моренен вал (Grunewald и Scheitchauer, 2008, 2011; Груневалд и др., 2008). От 2006 г. насам циркусът Големия Казан, както и намиращият се в него микроледник, отново са обект на изследване от български учени. Наред с подробното описание на геоморфологията и земното покритие на циркуса, са извършени и прецизни полеви измервания на фирновата площ на Снежника през есените на 2008 – 2015 г. (Gachev et al., 2009; Гачев, Гиков, 2010; Gachev, Stoyanov, 2013; Гачев, 2014; Gachev и др., 2016) с помощта на въже и лазерен далекомер.

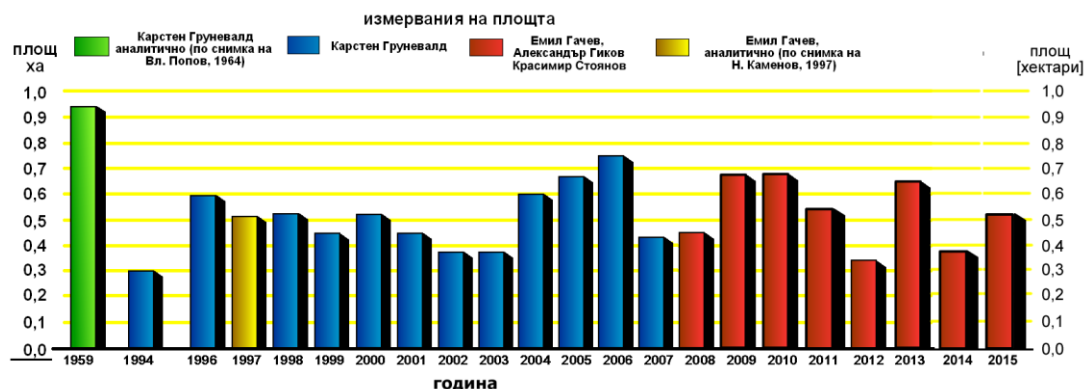


Фигура 3. Карта на микроледник Снежника

Изменения на площта

В резултат на провежданите редовни наблюдения се установява, че в периода 1994-2015 г. фирновата площ на Снежника в края на аблационния сезон е била между 0,30 ха (IX. 1994 г.) и 0,74 ха (X. 2006 г.). На фиг. 4 най-вляво е показана площта през есента на 1959 г., калкулирана от Груневалд и др. (2008) по изображението от публикацията на Попов (1964). Със синьо са отбелязани измерванията на германските учени (Grunewald и Scheitchauer, 2008, 2011; Груневалд и др., 2008), а с червено – резултатите на български учени от 2008 г. насам (Gachev, 2009, 2011; Gachev и др. 2009, Гачев, 2009, Гачев, Гиков, 2010; Gachev, Stoyanov, 2013; Гачев, 2014, Gachev и др., 2016). Площта за 1997 г. е изчислена от Gachev, Stoyanov (2013) по изображение от 27. IX. 1997 г.

Наличието на прецизни измервания и на снимки, правени от една и съща позиция през последните няколко години, дава възможност с точност да се разгледат измененията във фирновото тяло от година на година (фиг. 5 и 6). Площта на контура, заключен между скалната стена зад Снежника и билото на оградния моренен вал, е 0,93 ха. Такива са били максималните размери на фирна в миналото, когато е бил оформен валът в настоящия му вид. Според мнението на Груневалд и др. (2008) това е станало през Малката ледникова епоха (преди 1850 г.), без да е ясно точно в кой момент от този период. Фактът, че отбелязаната през 1959 г. площ превишава значително всички големина, измерени в по-ново време, подсказва, че от средата на XIX век до 90^{те} години на XX век Снежника е намалил размерите си съществено. Този извод се подкрепя от други фотографии, правени от туристи в есенните месеци през 70^{те} и 80^{те} години на миналия век, които показват значителна големина на фирновата повърхност през този период (Grunewald, Scheitchauer, 2006, /www.forum.meteonetwork.it/glaciologia-cura-sgl/..). Посоченото намаление, което се изразява не толкова силно в свиване на площта на фирна, колкото в спадане на обема и нивото му, е резултат от настъпилото след края на Малката ледникова епоха глобално затопляне на климата.



Фигура 4. Графика на изменение на фирновата площ на Снежника в периода 1994-2015 г.

Безспорно най-интересният факт, установен в резултат на провеждащите се вече над 20 години редовни измервания на площта на микроледник Снежника е, че **през този най-нов период не се наблюдава тенденция към промяна на големината.**

Това явление е в противоречие с установената в последно време глобална тенденция на отстъпление на ледниците в повечето места на света, а причината трябва да се търси в характерните особености на климата в нашия регион на Европа, и особено на планинския микроклимат.

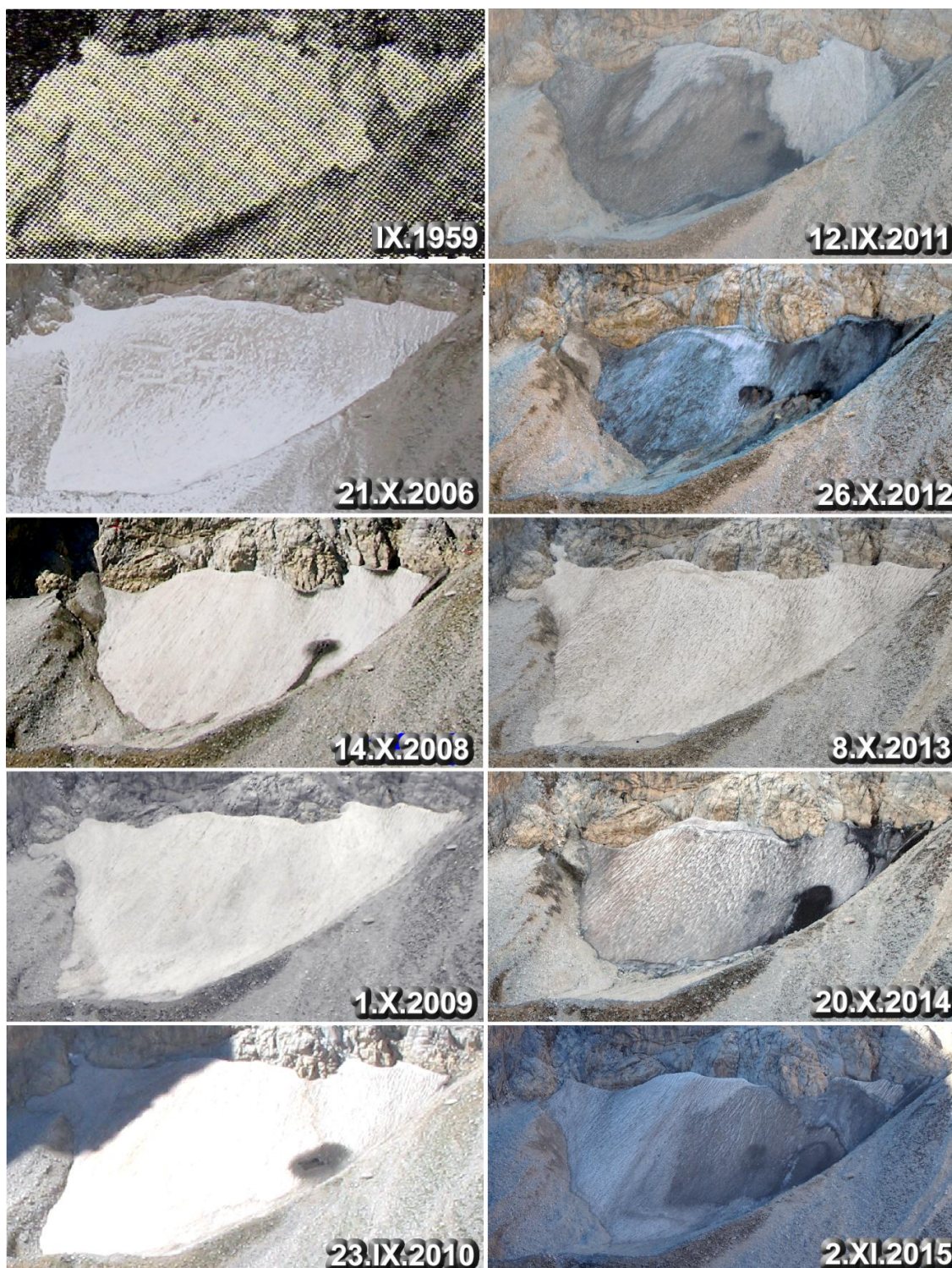
Климатът на Пирин съчетава средиземноморски с планински черти. Летата са жарки (поне в подножието), а зимите – обикновено снежни. По склоновете на планината може да се проследи постепенният преход от най-високите средногодишни температури в България (+14°C при Кресна) до едни от най-ниските (отрицателни над 2600 m н. в.). В същото време от наличните климатични данни (Груневалд и др., 2016) се установява, че средните температури са с поне 0,5°C по-високи от тези в Рила за места с една и съща надморска височина. Валежният режим е с изразен есенно-зимен максимум (пик през ноември) и летен минимум, като 58-60% от валежните количества падат в периода IX-II. На базата на оскъдната налична информация може да се предполага, че годишните суми на валежите за високата северна част на Пирин са едни от най-големите в България (около и над 1000 mm), а режимът им предопределя максимални количества снеговалеж за високопланинския пояс, поне за нашата страна, а и като цяло за източната част на Балканския полуостров.

Анализ на климатичните условия в района на микроледник Снежника

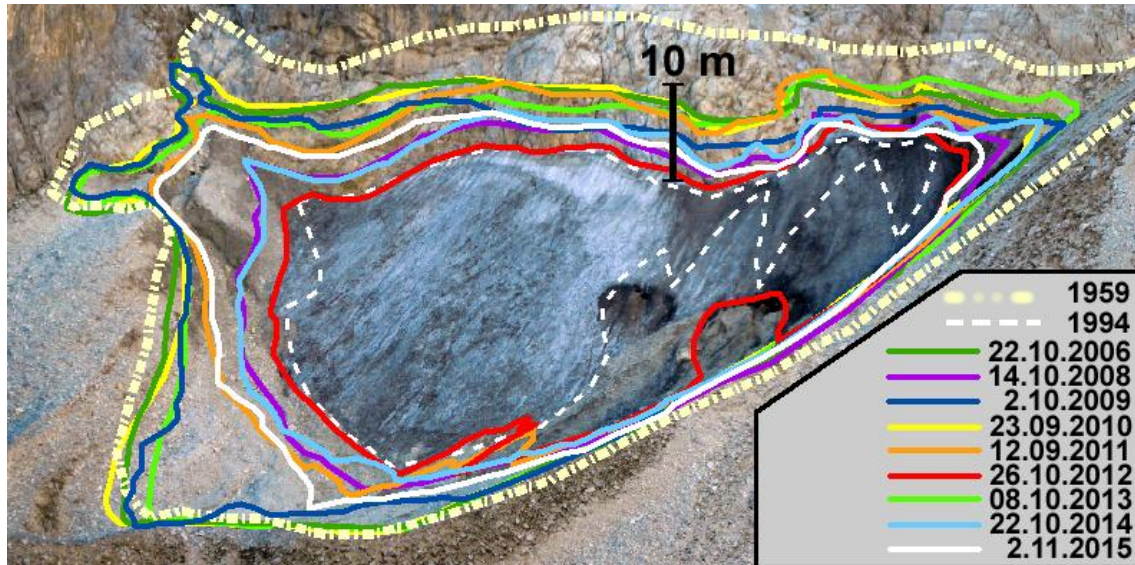
Температурата е ключов елемент в баланса на масата на ледниците. Тези условия могат да бъдат изразени чрез различни характеристики. Докато средната годишна температура показва обобщеното термично ниво на атмосферата през дадена година, то температурите за топлото полугодие (във високопланинския пояс положителните температури) определят в преобладаваща степен загубите на маса в топене и сублимация. Отрицателните температури през зимата подпомагат задържането и натрупването на снега, като това не зависи твърде много от абсолютната им стойност. По-важно е колко време продължава периодът с отрицателни температури на мястото на микроледника. Обратно – при положителните температури е важна конкретната величина, поради директната връзка с интензивността на топене и сублимация. Затова е най-подходящо летните температури да се изразяват чрез средна стойност за летния период или чрез сумата от положителните температури.

Първата климатична информация от циркуса Големия казан е тази на ст. н. с. Вл. Попов в края на 50^{те} години на XX век. Измерванията при сегашния заслон „Казана“ (2445 m н. в.) са правени в четиригодишен период (1957-1961 г.) на стационарен принцип, с термограф. Установената средногодишна температура на въздуха е +0,3°C, а годишната температурна амплитуда: 16°C (най-студен месец – януари, а най-топъл - август).

През 2009 г. екипът на Карстен Груневалд от Дрезден монтира в околността на микроледника два автоматични датчика със сензори за температура, влажност и атмосферно налягане, които измерват ежечасно споменатите параметри. Показанията им отчитат температури на въздуха с 1 до 1,5°C по-високи от представените от Попов (1964). През IX. 2011 г. отново немските учени инсталираха и успешно стартираха автоматична метеорологична станция при самия заслон „Казана“, както и станция на х. Вихрен (1970 m н. в.). Данните от тези пунктове показват значително по-високи температури от измерваните в миналото: за периода IX. 2011 – IX. 2013 г. станцията при заслона показва средна температура +2,1°C (Grunewald, 2013), а тази при х. Вихрен: + 3,9°C за периода 2010-2015., е с 1,4°C по-висока от средната за старата станция в периода 1958-1981 г.



Фиг.5. Визуален изглед на Снежника: 1959 (Попов, 1964), 2006, 2008 – 2015.



Фигура 6. Очертания на Снежника в края на аблационния сезон за 1959 г. (по фотогографията на Попов (1964), 2006 г., 2008 – 2015 г., и предполагаеми за Малката ледникова епоха)

На 22. X. 2014 г. екип от ЮЗУ „Неофит Рилски“ и ИКИТ-БАН с участието на Е. Гачев, А. Гиков, К. Стоянов и други, монтира и пуска в действие стационарен автоматичен метеорологичен пункт на самата връхна точка на Вихрен (2914 m н. в.). Пунктът измерва температура и влажност на въздуха на всеки 30 мин. Данните за първата година (1. XI. 2014 – 31. X. 2015 г.) показват средна годишна температура $-1,3^{\circ}\text{C}$ (при $-1,8^{\circ}\text{C}$, измерена на вр. Мусала за същия период).

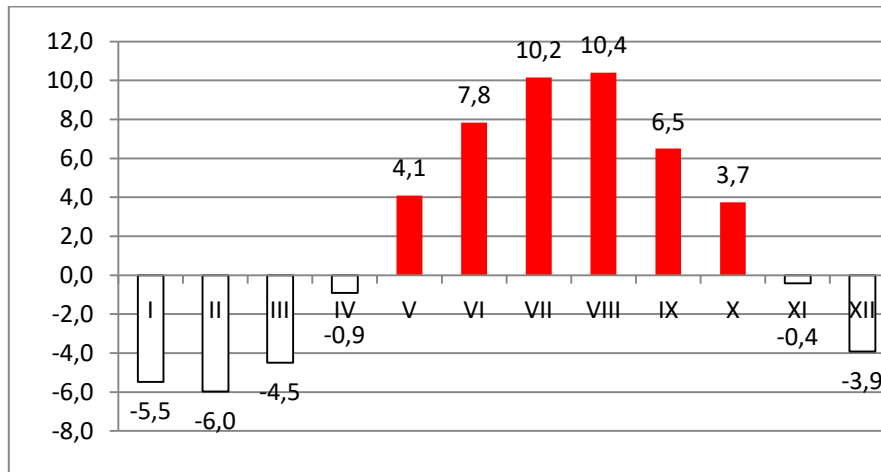
Климатичната информация от района на Вихрен е недостатъчна за обстоен анализ. В подножието на Пирин има две метеорологични станции от мрежата на НИМХ – Банско (930 m н. в.) и Сандански (190 m н. в.). Данни за втората има в Интернет (www.stringmeteo.com), но малката надморска височина на тези станции е съществен проблем. Затова от ключово значение за анализ на температурите във високопланинския пояс на Пирин е станцията на вр. Мусала (2925 m н. в.) в Рила, която отстои на около 55 km от вр. Вихрен и функционира без прекъсване от 1933 г. досега.

При сравняване на периодите 1931-1970 и 1979-2008 г., се установява, че средномногогодишната температура на въздуха при вр. Мусала се е повишила с $0,3^{\circ}\text{C}$, а в Сандански с $0,2^{\circ}\text{C}$ (Велев, 2010). Средно за последните 30 години това предполага издигане на височината на годишната нулева изотерма с 50 m. При Мусала най-голямо е затоплянето (над $0,6^{\circ}\text{C}$) през януари, март и юни (Ножаров, 2008). През април, септември и ноември отсъства тенденция или е налице захлаждане (с $0,2$ до $1,2^{\circ}\text{C}$).

Сравнителният анализ на данните от вр. Мусала и циркуса Големия казан за периода 1957-1961 (Ножаров, Гачев, 2007), както и за IX. 2011 – IX. 2013 г. показва много добра корелация на двете редици ($R_{xy} = 0.95-0.99$), което убедително говори, че температурата от вр. Мусала може да се използва като отправна точка при анализа на температурите край микроледниците на Пирин.

За изчисляване на разликата в температурите между вр. Мусала и циркус Големия Казан са използвани данните от автоматичната станция при заслон „Казана“ за периода IX. 2011 – IX. 2014 г. Установената за този период разлика е кръгло 4°C в полза на „Казана“, без съществени сезонни или месечни контрасти. Съответно, при нашия анализ температурните показатели в близост до микроледник Снежника за периода 1993-2015, са изведени от температурите при вр. Мусала с добавяне на споменатата по-горе разлика.

За да се анализират коректно климатичните фактори е нужно те да се разглеждат съобразно с времетраенето на балансовата година на микроледниците. При представяне на месечни показатели за начало на балансовата година може да се приеме I.XI, а за край – 31.X (което съвпада с хидроложката година). За годините, в които са били извършвани полеви измервания на площта на микроледника, е най-коректно обобщаването на ежедневните климатични данни да се прави за реалния период между датата, в която е измерена големината през есента на конкретната година и датата на измерване през есента на предходната календарна година. Фиг. 7 показва изчислените на тази база средни месечни температури на въздуха при заслон „Казана“ за периода от X. 1993 г. до IX. 2015 г. включително (тоест, за балансови години от 1993/1994 до 2014/2015).



Фиг. 7. Средни месечни температури при заслон „Казана“ за периода XI.1993 – X. 2015 г. включително (екстраполирани, на база на данните за вр. Мусала)

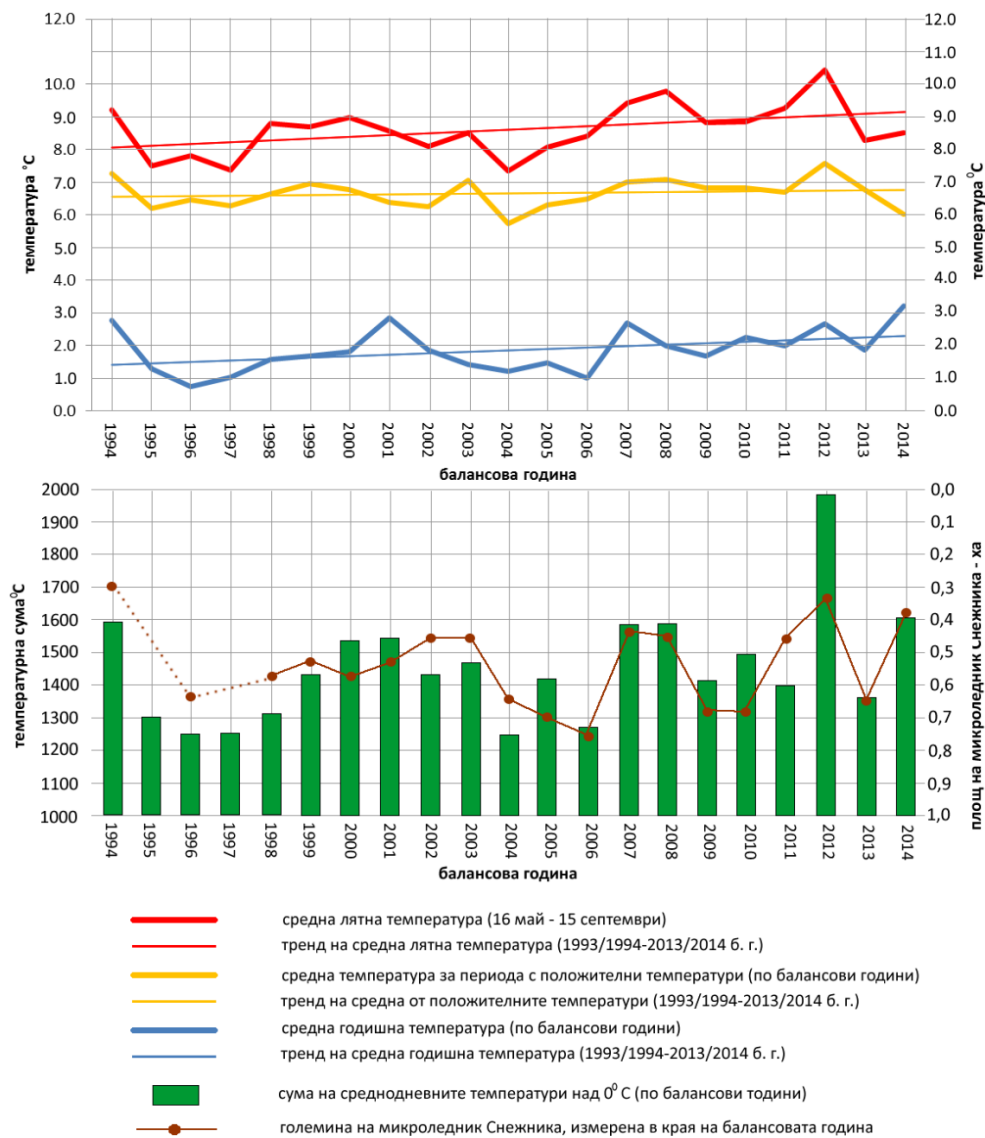
На диаграмата ясно се разграничават сезонът на акумулация с отрицателни температури, и сезонът на аблация с положителни температури. Двата имат приблизително равна продължителност. Средната годишна температура при з. „Казана“ за коментирания период е $+1,9^{\circ}\text{C}$ – доста по-висока от измерената от Попов (1962). За същия период средната от положителните температури на въздуха е $+6,7^{\circ}\text{C}$, а средната лятна температура (за периода 16. V – 15. IX) е $+8,6^{\circ}\text{C}$. И трите показателя имат тенденция към повишение, като тя е най-изразителна при лятната температура, а в многогодишния им ход се установяват както сходства, така и разлики. Най-висока е била средната годишна температура през 2000/2001 балансова година, с по-малки пикове през 1993/1994, 2006/2007 и 2011/2012 б. г. При лятната температура е силно изразен абсолютният максимум от 2011/2012 б. г., и вторият пик през 2007/2008 б. г., а топли са също периодите 1993/1994 и 1997/1998-1999/2000 б. г. Минимумите и на двата показателя са в периодите 1994/1995-1996/1997 б. г. и през 2003/2004 б. г. В изминалите 21 години не се установява определена цикличност в измененията на температурата.

Трябва да се уточни, че инструменталните данни от заслон „Казана“, получавани от 2011 г., на базата на които са направени пресмятанията, представят микроклиматични условия на открития склон (заслонът се намира на възвишение на самия изход на циркуса). В непосредствена близост до микроледника значително се усилват влиянието на негативната форма, охлаждащия ефект на самото фирново тяло и възникващите край него локални температурни инверсии. Тоест, ясно е, че температурите при самия микроледник са доста по-ниски от отчетените от автоматичната станция.

Валежите са вторият съществен фактор в динамиката на ледниците, като имат двойк ефект. От една страна снеговалежите през зимата добавят маса към ледника – без сняг не би имало и ледници, независимо от това колко ниски са температурите. От друга страна летните дъждове подпомагат топенето. Затова е важно да се знае както общото количество на валежите, така и тяхното разпределение през годината. При анализа на валежния фактор са налице редица проблеми. Най-напред, точното инструментално измерване в планински условия е трудно, особено на снега (Veit, 2002). На второ място, валежите се отличават с изключително голяма изменчивост в пространството и това създава риск от грешки при оценката на тяхното количество, ако се използва информация от далечни станции. Трето, трудно е да се оцени точно ролята на дъждовете в топенето на снега и леда. И четвърто – проблематично е да се определи точно кои валежи са течни и кои – твърди.

Микроледниците получават основното количество снежна маса не от директните валежи, а от лавини и преотвят сняг. Докато за снега от лавини може да се разсъждава на базата на валежната сума и на площта на лавиносъборния басейн, за преотвиятия сняг практически няма информация. Най-конкретни данни за валежите при Снежника дава Попов (1964). През 1957-1961 г. той прави измервания с тотализатор, и установеното от него средногодишно валежно количество е 1028 mm. Станцията на х. Вихрен, която функционира в периода 1958-1981 г., и работи с класически дъждомер, показва средногодишна стойност 1280 mm, която поставя района сред най-валежните места в България. За жалост инсталираната през 2010-2011 г. автоматична дъждомерна апаратура при х. „Вихрен“ и заслон „Казана“ не дава надеждни резултати. На основата на наличната информация може да се предполага, че годишните валежи в района на Казана са около 1000 – 1100 mm.

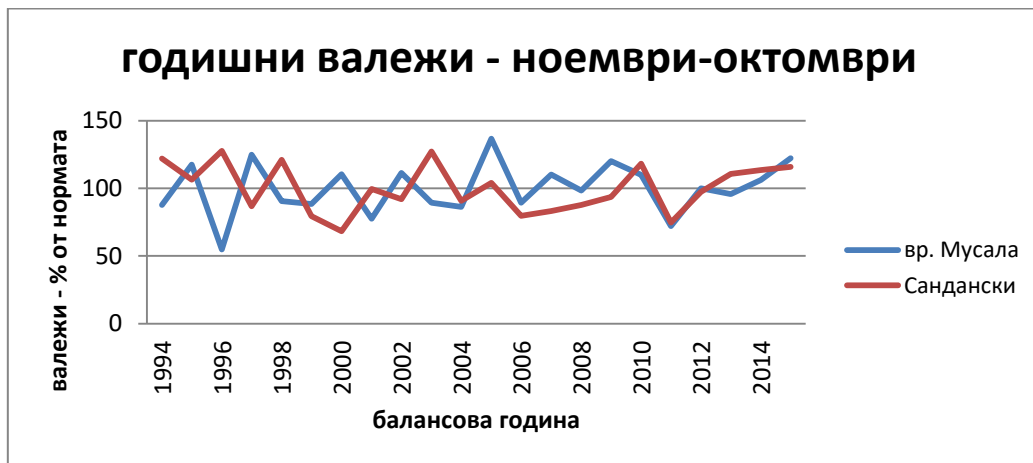
Що се касае до времето от 1993 г. насам, валежите при Сандански са съпоставими с тези от по-стари периоди. При вр. Мусала в последните 20 години се отбелязва намаление с около 120-130 mm спрямо по-стария период (Nojagov, 2010). В последните години обаче валежните режими както на вр. Мусала, така и за Сандански, показват някои разлики от по-стария период, дължащи се до някъде на зачестилата проява на големи по количество извалявания с инцидентен характер в отделни дни, които оказват влияние и върху средномесечните суми. За Сандански например такива са валежите през м. VI. 1994 г. (225 mm), XII. 1998 г. (200 mm), VIII. 2001 г. (265 mm) и други, за Мусала рекордни са валежите през м. IV. 1997 г. (306 mm), III. 2009 г. (218 mm) и др. Ако обаче се сравняват процентните съотношения на валежите за периодите XI - IV и V - X се вижда, че при Мусала то е нарастнало с 4% (от 55:45 за 1951-1981 до 59:41 за 1993-2015), а при Сандански е намаляло с 6% (съответно от 54:46 на 48:52), тоест, от гледна точка на подхранването на Снежника режимите не са се променили съществено.



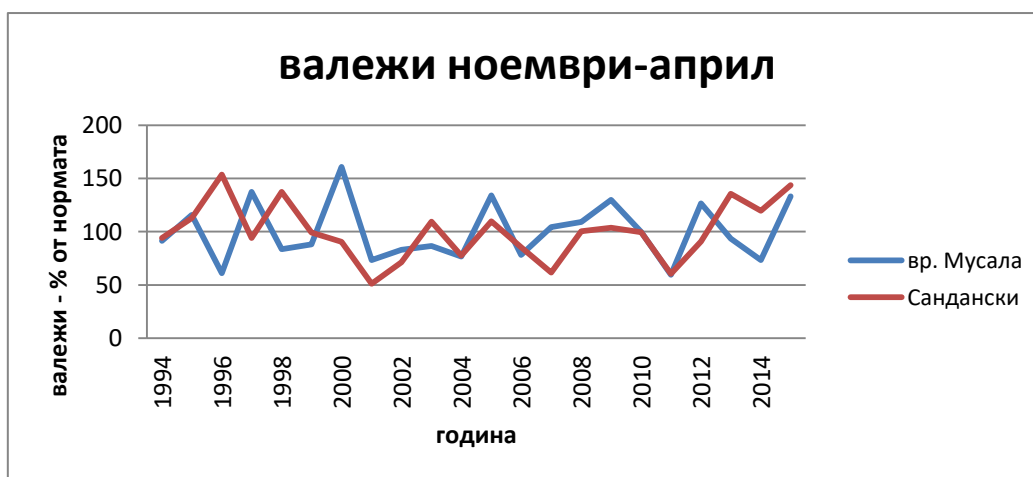
Фиг. 8. Основни показатели на температурата за циркус Големия казан (изчислени на базата на данните от вр. Мусала) за периода 1993/1994-2014/2015 балансова година

За периода от 22 балансови години, през който е наблюдаван Снежника (1993/1994 до 2014/2015), валежите на вр. Мусала са били средно 834 mm годишно, като най-голямата регистрирана годишна сума е 1128 mm (2004/2005 б. г.), а най-малката едва 441 mm (1995/1996 б. г.). За Сандански средният валеж за периода е 558 mm, с максимуми 712 mm (1995/1996 б. г.) и 710 mm (2002/2003 б. г.), и минимум 381 mm (1999/2000 б. г.). На фигурата по-горе личи несъвпадението в междугодишните колебания на валежните суми на двете места, особено в началото на периода. Така например годината 1995/1996 е едновременно с минимална сума на вр. Мусала и максимална при гр. Сандански.

Като цяло в последните 10 години двете станции показват синхронни колебания. Всички климатични районирания на България поставят връх Мусала и Сандански в две отделни климатични области (Димитров, 1979; Велев, Йорданова, 1997; Велев, 2010 и др.) и установеното в последните години сходство може да е индикатор за промени в атмосферната циркулация.



Фигура 9. Суми на валежите на вр. Мусала и Сандански по балансови години за периода 1.XI.1993–31.X.2015 г., в проценти от средното за периода (по данни от www.stringmeteo.com)



Фигура 10. Количество паднали валежи във времето на акумулационния сезон на микроледниците (XI - IV) за станциите връх Мусала и Сандански в периода от 1993/1994 до 2014/2015 балансова година в проценти от средното за периода (по данни от www.stringmeteo.com)



Фигура 11. Паднали валежни количества във времето на аблационния сезон на микроледниците (май-октомври) за станциите връх Мусала и Сандански в периода от 1993/1994 до 2014/2015 балансова година в проценти от средното за периода (по данни от www.stringmeteo.com)

За месеците на акумулационния сезон (XI-IV) средно за разглежданите 22 години валежите на Мусала са 459 mm, а за Сандански – 275 mm. В двете станции тези валежи показват съществени колебания, като за вр. Мусала те са между 61% и 161% от средната стойност, а за Сандански между 51% и 153% (фиг. 10). Отново в началните години на периода се наблюдава диспропорция между двете станции – за Мусала пиковите са през 1994/1995, 1996/1997 и 1999/2000 г. (първите две в Сандански са минимума), а в последното десетилетие – през 2004/2005, 2008/2009 и 2011/2012 г. (първите две са максимуми и в Сандански). В периода след 2000 г. зимните валежи в Сандански и вр. Мусала имат някои сходства в колебанията – по-големи суми в годините 2004/2005 и 2007/2008 до 2009/2010 б. г., и минимума през 2005/2006-2006/2007 и 2010/2011 б. г. Интересно е, че през 2012/2013 г. се наблюдава разминаване, при което в абсолютна стойност валежите за XI - IV в Сандански са почти толкова, колкото и на Мусала.

Валежите от май до октомври в циркусите на Пирин са предимно в течно състояние. За периода 1994-2015 г. тези валежи при вр. Мусала са били средно 375 mm. Най-големи суми са отчетени през 2014 и 2002 г. (съответно 550 и 549 mm), а най-сухо е било лятото през 1996 и 2000 г. (съответно 178 и 182 mm), като колебанията са между 47% и 147% от нормата. При Сандански са отчетени средно 283 mm с максимуми през 1994 и 2001 г. (съответно 422 и 415 mm), минимум през 2000 г. (132 mm) и колебания от 47% до 149% спрямо средното. По този показател данните за Мусала и Сандански показват по-големи разминавания. До 2000 г., когато е абсолютният минимум на летните валежи и в двете станции, сумите са като цяло по-малки и това може да определи летата на тези години като сухи в сравнение с по-новия период. Интересно е, че въпреки много сухото лято, регистрираните през V - X 2012 г. валежи са доста над абсолютните минимума от 1996-2000 г., а за Сандански лятната сума за 2013 г. е по-малка от тази за 2012! В периода 2002-2010 г. летните валежи на Мусала като цяло са повече, а пиковите се отбелязват през 2002, 2005, 2014 и по-слабо през 2010 г. В Сандански максималните валежи в периода V-X са били през 1994, 2001, 2003 и 2010 г., а рекордните за страната суми от лятото на 2014 г. тук не са намерили своя израз.

Резултати от климатичния анализ. Представянето на някои основни температурни характеристики (на база на данните за вр. Мусала) в относителни единици – като процент от наблюдаваното най-голямо отклонение на всеки от тях от нормата за периода 1993/1994–2014/2015 б. г., показва значително съвпадение на многогодишния им ход с този на измерените големина на микроледник Снежника. На фиг. 8 последните са представени с обърната наопаки скала, тъй като по-високата температура би следвало да обуславя по-малка площ. Докато в периода 1997/1998–2004/2005 б. г. са налице редица разминавания, в следващите години (особено от 2011 г. насам) се наблюдава съгласуваност на колебанията, които в същото време са със значителни амплитуди.

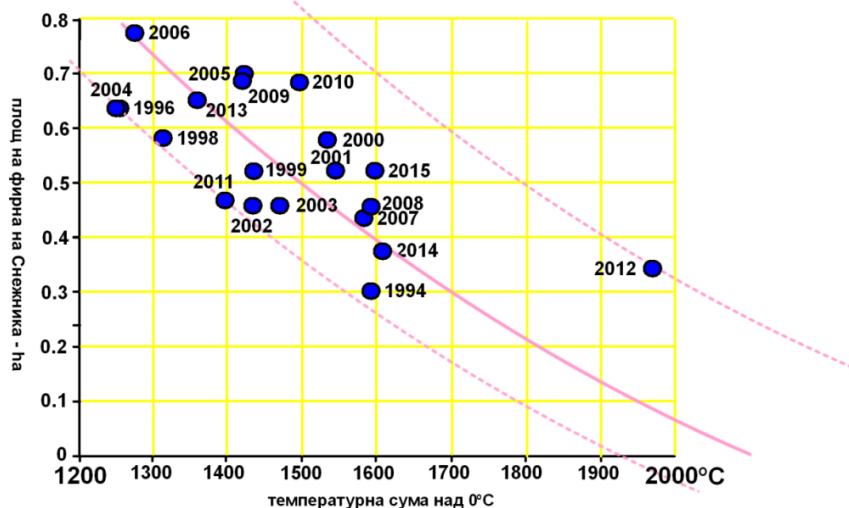
Както личи на табл. 3, между вариациите на площта на микроледник Снежника и няколко базови температурни показателя се наблюдава съществена корелационна връзка (табл. 3). Най-добра е тя при сравняване на данни за последните 11 години - от 2004/2005 до 2014/2015 б. г. При съпоставка на по-дълги, както и на по-къси периоди, коефициентите намаляват. Като най-стабилна във времето изпъква зависимостта между площта на Снежника и сумата на положителните температури, където коефициентите за всички сравнявани периоди, завършващи през 2015 г. са в интервала от $-0,72$ до $-0,79$. Полученият резултат е логичен, тъй като температурната сума изразява най-добре количеството на получената топлина за аблационния сезон.

Таблица 3. Връзка между многогодишната динамика на площта на микроледник Снежника и температурни показатели (коефициент на корелация).

Период (балансови години)	Год. темп	Темп. сума над 0°C	Брой дни с темп. над 0°C	Ср. темп 16. V-15.IX	Ср. темп 16. V-15.X	Ср. темп 1.VI-30.IX
1994-2015 (20 б. г.)	-0,69	-0,72	-0,60	-0,54	-0,54	-0,52
2003-2015 (13 б. г.)	-0,72	-0,78	-0,73	-0,61	-0,59	-0,62
2005-2015 (11 б. г.)	-0,85	-0,83	-0,81	-0,71	-0,65	-0,65
2008-2015 (8 г.-наши)	-0,73	-0,79	-0,86	-0,59	-0,57	-0,48

Вторият най-съществен показател е годишната температура на въздуха. При нея стойностите на корелацията са в интервала от $-0,66$ (1995/1996 – 2013/2014) до $-0,85$ (2004/2005 – 2013/2014 б. г.), като за целия период от 1993/1994 б. г. насам (без годините 1994/1995 и 1996/1997) коефициентът е $-0,69$. Броят на дните с положителни температури има общ смисъл, тъй като не представя конкретната величина на температурата. В последните 8 години обаче именно този показател корелира най-силно с промените в площта: $R_{xy} = -0,86$. Най-добра връзка с големината на Снежника показва температурата за периода 16. V – 15. IX, която може да се определи като лятна температура. Стойностите на корелация при този показател са между $-0,51$ и $-0,71$.

В контекста на тези особености като главен фактор за динамиката на Снежника в климатичния анализ ние приемаме температурните условия през аблационния сезон, изразени чрез сумата от положителните температури. Този показател се оказва най-стабилен във времето. Фиг. 12 представя графично получената връзка между измерените площи на Снежника и сумите на положителните температури за балансви години 1993/1994, 1995/1996 и 1997/1998 – 2014/2015, при коефициент на корелация $-0,79$. Точното прекарване на линията на тренда е проблематично, поне на настоящия етап. По наше мнение тази линия трябва да бъде извита, тъй като с намаляване на площта на фирна се засилва влиянието на микротопографията. Така например, предполага се, че при прогресивно свиване остатъчната фирнова маса ще се изтегля към най-сенчестите и най-понижени места, при което нейното по-нататъшно намаляване ще става с по-бавен темп.



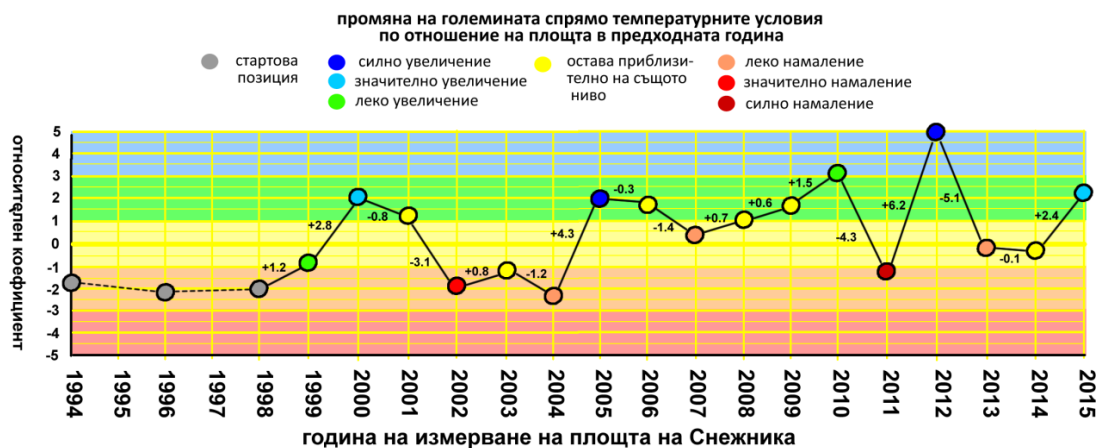
Фигура 12. Зависимост между площта на микроледник Снежника и сумата от положителните температури

Стойностите се простират в ивица около изчертания тренд на зависимост. Величините за годините 2000, 2001, 2005, 2008, 2009, 2010, 2012, 2015 се оказват над уравниелната линия. Това означава, че при тях площта е по-голяма от средната при тези топлинни условия. Изключително голямо е положителното отклонение при 2012 г. Годините 1994, 1996, 1998, 1999, 2002-2004, и 2011 са под линията, тоест, площта при тях е по-малка от очакваното при тези температури.

Какво кара точките на фиг. 12 да се отклоняват нагоре или надолу от уравниелната линия? Това трябва да е вторият по важност климатичен фактор. Но кой е той, кой параметър ще го изрази най-добре и дали такъв може да се изведе с наличните данни? Опитите да се обясни отклонението на точките с действието на валежите дълго време не даваха резултат, тъй като отместването нагоре или надолу от линията не кореспондира нито с валежите при Сандански, нито с тези при Мусала, били те годишни или сезонни. Например при сравнението на площите за годините 2004 и 2006 се вижда, че температурните суми при тях са почти еднакви, както и валежите при Сандански и Мусала, а в същото време площта на микроледника за 2006 г. е с 20% по-голяма от установената през 2004 г. Обяснението на тези на пръв поглед нелогични несъответствия се намира като се вземе под внимание стартовата площ, с която Снежника започва поредната балансова година: за балансовата 2003/2004 тя е 0,46 ha (площ през IX. 2003 г.), а за 2005/2006 г. - 0,70 ha (площ през IX. 2005 г.).

И така, от това положение става ясно, че при опита за оценка на отклонението на точките на фиг. 12 от уравниелната линия трябва да се калкулира не номиналното отклонение от самата линия, а разликата спрямо точката от предходната година. Това е направено на фиг. 13, където точките са представени според положението им по отношение на линията на зависимост от фиг. 12, като тук споменатата линия е представена като хоризонтална и съответства на главната ос на фигурата. За да се получи точна оценка, на чисто графичен принцип е въведен относителен коефициент (O_k), като едно малко деление по вертикалната ос на фиг. 13 съответства на стойност 0,5.

На фиг. 13 отстоянията от уравниелната линия са представени в същите съотношения, както на фиг. 12, но точките са подредени хронологично. С малки числа вляво, до вертикалната ос, са показани стойностите на относителния коефициент, а край самата линия на графиката са дадени промените в коефициента за всяка балансова година (от 1998/1999 б. г. нататък, тъй като преди това няма ежегодни измервания на площта). За да се потърси вторият климатичен фактор, определящ междугодишната динамика в площта на Снежника, редицата от стойности, отразяващи промените на коефициента за балансовите години 1998/1999 до 2014/2015, са съпоставени с данни за валежите при станциите Сандански и вр. Мусала (табл. 4). В таблицата се забелязва добрата връзка между промените на относителния коефициент и зимните валежи при вр. Мусала, като на базата на ежедневните стойности на валежите в рамките на балансовата година (взета като период между две поредни измервания на площта на микроледника) се постигат по-високи коефициенти на корелация между O_k и валежите на вр. Мусала. Най-добра се оказва връзката при температури на Мусала под -1°C (съответстващи на стойности под $+3^{\circ}\text{C}$ при Казана). При нея се наблюдава изключителна стабилност на получените стойности, когато се сравняват редове с различна продължителност в години. Не се установява значима връзка с който е да е от валежните показатели за Сандански.



Фигура 13. Отстояние на точките от фиг. 12 (съответстващи на съчетанието площ /температурна сума) спрямо уравнителната линия (розовата крива), изразено в относителни единици (коефициент O_k)

Таблица 4. Връзка между O_k и валежни показатели (коефициент на корелация).

Период (балансови години)	Общ валеж – Мусала	Зимен валеж – Мусала (XI-IV)	Валежи на Мусала при темп. под 0°C (по б. г.)	Валежи на Мусала при темп. под 1°C (по б. г.)	Летен валеж – Мусала (V-X)	Общ валеж – Сандански	Зимен валеж – Сандански и (XI-IV)	Летен валеж – Сандански (V-X)
1999-2015	+0,47	+0,68	+0,65	+0,73	-0,21	+0,13	+0,25	-0,08
2003-2015	+0,57	+0,69	+0,71	+0,76	+0,03	+0,28	+0,19	+0,21
2005-2015	+0,59	+0,71	+0,73	+0,78	+0,02	+0,28	+0,15	+0,26
2008-2015	+0,53	+0,69	+0,82	+0,86	-0,17	+0,22	-0,04	+0,30

На базата на извършеното дотук ние приемаме зимните валежи за втори фактор, като очевидно данните от станцията на вр. Мусала могат да се използват за оценка на междугодишните изменения в площта на микроледник Снежника. Това е удобно, предвид на публичната достъпност на метеорологичната информация от вр. Мусала. Зимните валежи задават различно стартово ниво за аблацията през всяка балансова година. За аблационния сезон на годините 1994, 1996, 1998, 2002-2004 и 2011 това ниво може да се приеме за ниско; за 1999, 2007, 2008, 2013 и 2014 като средно; за 2000, 2001, 2005, 2006, 2009, 2010 и 2015 като високо, а за 2012 – като много високо.

След направеното дотук изниква съвсем логичният и може би най-съществен въпрос: ако топлинните условия през аблационния сезон са водещ фактор за големината на микроледниците, а в последните 22 години летните температури имат тренд на нарастване, как така в този период микроледник Снежника не показва тенденция към намаляване? Причина за това разминаване е преди всичко влиянието на втория фактор – зимните валежи. В резултат на тяхното натрупване в периода 2005-2013 г. се наблюдава едно по-високо стартово ниво на нарастване на площта на Снежника в началото на балансовата година, при което въпреки сравнително по-високите температури през лятото площта остава сравнително голяма за наблюдаваното температурно ниво. Това особено се отнася за 2011/2012 б. г.: направеният анализ установява, че именно големите снегове през зимата на тази година спасяват Снежника от стопяване през рекордно горещото лято.

Заклучение

Направеното изследване показва колко специфична, и даже различна на фона на общите тенденции на климатични промени може да бъде реакцията на природата на регионално и локално ниво. Макар и много малки по размер, микроледниците в Пирин планина продължават успешно да оцеляват в условията на доказано покачващи се температури. Това е показателно за голямата относителна стабилност на микроклиматичните условия в циркусите на нашите високи планини, и дава една все още оптимистична прогноза съхраняването на природното богатство в тези места, поне за близкото бъдеще. Твърде е трудно да се прогнозира по-далечното бъдеще на малките снежно-фирнови форми в Пирин и на Балканския полуостров като цяло. В контекста на повишаващите се летни температури може да се очаква намаляване на средната им големина, но в случай че зимните валежи са около и над нормата, тази тенденция може и да не се прояви силно. Вероятно обаче при продължаващо нарастване на температурите и при устойчивото им задържане над определена прагова стойност ще се стигне до деградирането на постоянните снежно-фирнови форми (микроледници) и във временни (снежници). На базата на направения анализ считаме, че температурни суми над 2100°C ще застрашат сериозно съществуването на микроледниците. При такива топлинни условия те ще „преживяват“ лятото само при зимни валежи над нормата.

Литература:

- Велев, Ст. (2010) Климатът на България. Херон прес.
- Велев, Ст., М. Йорданова (1997) Климатично райониране на България. В: География на България. БАН
- Гачев, Е. (2014) Има ли ледници на Балканския полуостров? Природа, 1. 96-103.
- Гачев, Е., А. Гиков (2010) Описание и първо измерване на снежника в циркуса Бански суходол. Пробл. на геогр. 3-4. 90-98.
- Груневалд, К., Й. Шайтхауер, А. Гиков (2008) Микроледници в Пирин планина. Проблеми на географията, 1-2. 104-111.
- Груневалд, К., Е. Гачев, Г. Каст, П. Ножеров, М. Панайотов (2016) Метеорологични наблюдения в НП Пирин. Димитров, 1979. Климатология на България.
- Ножеров, Гачев (2007) Климатични фактори за промените в големината на Снежника в циркуса Големия Казан, Пирин. Науката и изкуството през XXI век, Благоевград, том 2, 399-403.
- Попов, В. (1962) Морфология на циркуса Големия Казан – Пирин планина. Известия на ГИ на БАН, VI. 86-99.
- Попов, В. (1964) Наблюдения върху снежника в циркуса Големия Казан – Пирин планина. Изв. на ГИ на БАН, VIII. 198-207.
- Carturan, L., F. Cazorzi, G. Dalla Fontana (2013) Evoluzione recente e dinamica del Ghiacciaio Occidentale del Montasio. Meteorologica. XII-2. U.M. del Friuli Venezia Giulia. 31-33.
- Colucci, R. (2016) Geomorphic influence on small glacier response to post Little Ice Age climate warming: Julian Alps, Europe. Earth surface processes and landforms.
- Colucci, R., E. Forte, C. Boccali, M. Dossi, L. Lanza, M. Pipan, M. Guglielmin (2015) Evaluation of internal structure, volume and mass of glacial bodies by integrated LiDAR and ground penetrating radar (GPR) surveys: the case study of Canin Eastern Glacieret (Julian Alps, Italy). *Surveys in Geophysics* 36(2): 231-252. doi: 10.1007/s10712-014-9311-1
- Djurović, P. (2012) The Debeli Namet glacier from the second half of the 20th century to the present. *Acta geographica slovenica*.
- D'Orfice, M., M. Pecci, C. Smiraglia, R. Ventura, 2000. Retreat of Mediterranean glaciers since the Little Ice Age: Case study of Ghiacciaio del Calderone, Central Apennines, Italy. Arctic, Antarctic and Alpine Research.
- Gachev, E (2009) Indicators for modern and recent climate change in the highest mountain areas of Bulgaria. *Landf. Analysis* 10.33-38.
- Gachev, E (2011) Inter-annual size variations of Snezhnika glacieret (the Pirin mountains, Bulgaria) in the last ten years. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, vol. XLV, 47-68.
- Gachev, E., A. Gikov, C. Zlatinova, B. Blagoev (2009) Present state of Bulgarian glacierets. *Landform Analysis* 11. 16-24.
- Gachev, E., K., Stoyanov (2012) Present-day perennial firn/ice patches in the mountains of the Western Balkan peninsula. *Studia geomorphologica carpatho-balcanica*, XLVI.51-70.
- Gachev, E., K. Stoyanov (2013) Present day small glaciers on the Balkan peninsula. *International Conference FMNS*, vol., 5, 79-85.
- Gachev, E., K. Stoyanov, A. Gikov (2016) Small glaciers on the Balkan Peninsula: state and changes in the last several years. *Quaternary International* (in press).
- Gądek, B. (2008) The problem of firn-ice patches in the Polish Tatras as an indicator of climatic fluctuations. *Geographia polonica*, 81, 1. 41-52.
- Gądek, B., A. Kotyrba (2003) Struktura wewnętrzna Lodowczyka Mięgoszowieckiego (Tatry) w świetle wyników badań georadarowych. *Przegląd Geologiczny* 51, 1044-1047.
- Gądek, B., A. Kotyrba (2007) Contemporary and fossil metamorphic ice in Medena kotlina (Slovak Tatras), as mapped by ground penetrating radar. *Geomorphologia Slovaca et Bohemica* 1. 75-81.
- Grunewald, K. (2013) The station 2 in Pirin – Kazana shelter, data sheet 2011-2013.
- Grunewald, K., C. Weber, J. Scheitchauer, F. Haubold (2006) Mikrogletscher im Piringebirge (Bulgarien). *Zschr. Gletscherkunde und Glazialgeologie* 39 (2003/2004), 99-114.
- Grunewald, K., J. Scheitchauer (2008) Klima- und Landschaftsgeschichte Sudosteuropas. Rekonstruktion anhand von Geoarchiven im Piringebirge (Bulgarien). Rhombos Verlag, Berlin. 178 pp.
- Grunewald, K., J. Scheitchauer (2010) Europe's southernmost glaciers: response and adaptation to climate change. *Glaciology*, 56.
- Grunewald, K., J. Scheitchauer (2011) Landscape development and climate change in SW Bulgaria (Pirin mountains). Springer. 161 pp.
- Hohenwarter, G. (2013) The Eiskar – 115 years of measurements at the southernmost glacier in Austria. *Meteorologica* XII-2. U.M. del Friuli Venezia Giulia. 26-28.
- Hughes, Ph. (2007) Recent behaviour of the Debeli Namet glacier, Durmitor, Montenegro. *Earth Surf. Proc. and Landf.* 32. 1593-1602.
- Hughes, Ph. (2008) Response of a Montenegro glacier to extreme heatwaves in 2003 and 2007. *Geografiska Annaler* 90A (4). 259-267.
- Hughes, Ph. (2009) Twenty-first century glaciers in the Prokletije mountains, Albania. *Arctic, Antarctic and Alp. Research*, 41. 455-459.
- Milivojević, M., L. Menković, J. Čalić (2008) Pleistocene glacial relief in the central part of Mt. Prokletije (Albanian Alps). *Quaternary International*, 190. 112-122.
- Nojarov, P. (2010) Changes in precipitation regime at peak Musala for the period 1933-2008. *Problems of Geography* 3-4.
- Pavšek, M. (2004) Ledenik pod Skuto: ledeniški dragulj na senčini strain Kamniško-Savinjskih Alp. *Geografski obzornik*, 51, 3. 11-17.
- Pavšek, M. (2007) Ledenik pod Skuto kod pokazatelj podnebnih sprememb v slovenskem delu Alp. (The Skuta glacier as an indicator of climate changes in Slovenian part of the Alps). *Dela* 28, 207-219.
- Pecci, M., C. D'Agata, C. Smiraglia (2008) Ghiacciaio del Calderone (Apennines, Italy): the mass balance of a shrinking glacier. *Geogr.Fis.Dinam.Quat.*, 31, 55-62.
- Rovelli, E. (2006) Il Ghiacciaio del Calderone: ricostruzione delle oscillazioni recenti mediante l'analisi delle fonti iconografico-storiche e meteo-climatiche (Calderone glacier: Reconstruction of recent oscillations through the analysis of the iconographic-historical and meteo-climatic sources (Gran Sasso, Abruzzo, Italy)). *Terra Glacialis*, 9, 9-46.
- Smiraglia, C., O. Veggetti (1992) Recenti osservazioni sui ghiacciaio del Calderone. *Boil. Soc. Geogr. Ital.* 9(4), 269-302
- Triglav-Čekada, M. (2013) 100 years of the Triglav glacier in Julian Alps from photographs. *Meteorologica*. XII-2. U.M. del Friuli Venezia Giulia. 24-25.
- Triglav-Čekada, M., M. Zorn, V. Kaufmann, G. K. Lieb (2012) Measurements of small Alpine glaciers: examples from Slovenia and Austria. *Geodetski vestnik* 56-3. 462-481.
- Veit, V. (2002) Die Alpen – Geoökologie und Landschaftsentwicklung. UTB/Ulmer, Stuttgart.
- /www.forum.meteonet.it/glaciologia-cura-sgl/
www.stringmeteo.com Bulgarian site for discussing weather.