

## **МОДЕЛИРАНЕ НА КЛИМАТИЧНИТЕ ПРОМЕНИ В РИЛА И ТЯХНОТО ВЛИЯНИЕ ВЪРХУ СЕДЕМТЕ РИЛСКИ ЕЗЕРА\***

**Петър Ножаров**

*Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките*  
*e-mail: pnojarov@abv.bg*

**Ключови думи:** *статистически модели, климатични промени, проекции, Седемте рилски езера*

**Резюме:** *Чрез статистическо моделиране са прецизирани Регионални Климатични Модели за района на Рила. Направени са проекции за бъдещия ход на температурите на въздуха и валежите. Оценено е влиянието на тези два елемента върху температурата на повърхностния воден слой и нивата на Седемте рилски езера.*

## **MODELING OF CLIMATE CHANGES IN RILA AND THEIR IMPACT ON SEVEN RILA LAKES**

**Peter Nojarov**

*National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences*  
*e-mail: pnojarov@abv.bg*

**Keywords:** *statistical models, climate changes, projections, Seven Rila Lakes*

**Abstract:** *Regional Climate Models were downscaled for the region of Rila using statistical modeling. Projections for the future course of air temperatures and precipitation were made. The impact of these two factors on the temperature of the surface water layer and the levels of Seven Rila Lakes was assessed.*

### **Въведение**

Регионалните Климатични Модели (PKM) имат за цел да увеличат пространствената резолюция на Глобалните Климатични Модели (ГKM), за да се постигне по-добро съвпадение с измерените стойности на климатичните елементи в определен район с малки размери. Резолюцията на PKM в момента достига 25x25 km. Дори такава резолюция, обаче, не е достатъчна за изследване на планинските райони, които са със сложна топография и имат значителни вертикални разлики, които влияят върху климата им. Ето защо е необходимо статистическо прецизиране на тези модели. Техните резултати обикновено симулират някои от основните климатични елементи като температура на въздуха и валежи. Във времево отношение симулациите се отнасят за бъдещ период с използване на определени сценарии. Тези сценарии се базират на настоящи трендове и са свързани с промени в някой от компонентите на системата.

Малко са изследванията за България, които използват PKM. Всичките те се отнасят за по-голям географски район като примерно източното Средиземноморие, Балканския полуостров или Източна Европа (Farda et al., 2010; Gao, Giorgi, 2008; Kostopoulou et al., 2009; ÖnoI, Semazzi, 2009). Никой от тях обаче не прилага статистическо прецизиране на резултатите от PKM. Също така се използва подход със само един, вместо повече модели. Има по-голям брой публикации, свързани с ГKM. Те оценяват влиянието на бъдещите климатични промени върху селското стопанство в България (Alexandrov, 1997a, Alexandrov, 1997b, Alexandrov, 1999,

---

\* Изследването е направено по проект „Обследване на глобалните промени във високите планини: на примера на езерните райони в Рила в България и в Юлийските Алпи в Словения“

Alexandrov and Hoogenboom, 2000, Hartig et al., 1997), върху влажните зони (Hartig et al., 1997) и върху водните ресурси (Alexandrov and Genev, 2003, Chang et al., 2002, Knight et al., 2004). Но тези изследвания не включват планините. Статистическото прецизиране на РКМ за територията на България е все още нерешен проблем, въпреки постоянното развитие на ГКМ и РКМ. Също така само частично е решен проблемът за това кой от моделите най-добре описва климата в България. Ето защо е необходима допълнителна работа в тази посока.

Целта на изследването е статистическо прецизиране на РКМ за високите части на Рила (по отношение на температурата на въздуха и валежите), разкриване на връзката между тези климатични елементи и някои показатели на Седемте рилски езера и проектиране на възможни бъдещи изменения.

### Данни и методи

На базата на РКМ е направено статистическо прецизиране на техните данни за температурата на въздуха и валежите в станция връх Мусала (2925 м.н.в.). Тази станция има достатъчно дълъг период с наблюдения (започва работа през 1933 г.) и корелациите ѝ с други станции показват, че тя може да се използва като репрезентативна за високия (над 2000 м.) пояс на Рила. Източникът на данни за РКМ е проектът ENSEMBLES. Той покрива територията на Европа и има резолюция от 25 км. по ширина и дължина. За статистическото прецизиране са използвани модели, базирани на множествена линейна регресия (МЛР). Данните от ERA-40 реанализ на ECMWF за периода 1961-2000 г. са използвани за калибриране на моделите. Направени са също така проекции за три бъдещи периода – 2015-2024 г., 2045-2054 г. и 2075-2084 г. Сценарият, който се използва е SRES A1B според IPCC Assessment Report 4. Това е умерен сценарий, който включва нарастване на парниковите газове до 2100 г. В Таблица 1 са показани РКМ, използвани за статистическото прецизиране и проектиране на температурите на въздуха и валежите във високия пояс на Рила.

Предикторите в МЛР моделите за температурата на въздуха са данните от РКМ за приземната (височина 2 м.) температура на въздуха и височината на геопотенциална повърхнина 700 hPa (само моделът PROMES няма данни за този показател), а за валежите са общият валеж за секунда, приведено към морско равнище налягане (моделът CRCM няма данни за този показател) и относителната влажност (моделът RegCM няма данни за този показател). Основният критерий за включването на даден предиктор в модела е коригираният коефициент на детерминация  $R^2$ . Само тези предиктори, които допринасят съществено (покачват коригирания коефициент на детерминация) за качеството на статистическия модел се включват в него. Поради голямото количество предиктори при конструирането на МЛР моделите беше използван и критерий за предпазване от пренапасване (ASE), което би могло да доведе до голяма нестабилност най-вече при проектираните резултати. При валежите допълнително бяха използвани и генерализирани линейни модели (ГЛМ), тъй като те позволяват моделиране на параметри, които нямат нормално разпределение. Валежите показват Гама-разпределение и се моделират подходящо чрез логаритмуване. Също така е използвана и корелация на Спирмън или Пиърсън за оценка на връзката между резултатите от различните модели и реално измерените стойности в изследваните пунктове (Wilks, 2006).

Таблица 1. Времево покритие на РКМ, използвани за статистическо прецизиране и проектиране на температурите на въздуха и валежите.

Период 1961-2084	Период 1961-2050
CNRM-Aladin	CRCM
DMI-ARPEGE-HIRHAM	PROMES
ETHZ-CLM	
RegCM	
RACMO	
HadRM3Q0	
HadRM3Q16	

### Резултати и дискусия

Корелацията между измерените на връх Мусала и изчислените от различните РКМ температури на въздуха е показана в таблица 2. От нея се вижда, че моделите, които най-добре описват този елемент на климата са ETHZ-CLM и DMI-ARPEGE-HIRHAM. Като цяло всички корелационни коефициенти са статистически значими, което показва, че РКМ се справят сравнително добре при описанието на температурата във високата част на Рила. Единствено

моделът CNRM-Aladin има сравнително по-ниска стойност. Корелацията между резултатите от статистическото прецизиране на РКМ (съставените МЛР модели) и измерените температури на въздуха в станция връх Мусала са показани в таблица 3. Стойностите разкриват, че най-добре са описани от статистическите модели месеците януари, февруари, април, август и октомври – всички с коефициент над 0,9. Най-лошо са описани месеците юни и юли - стойности под 0,7. И тук всички цифри са статистически значими. Сравнението между двете таблици показва, че коефициентите във втората са по-високи. Това означава, че статистическото прецизиране на РКМ подобрява моделирането на температурата на въздуха във високата част на Рила. И двата използвани предиктора (приземната температура на въздуха и височината на геопотенциална повърхнина 700 hPa) показват приблизително еднаква тежест през различните месеци.

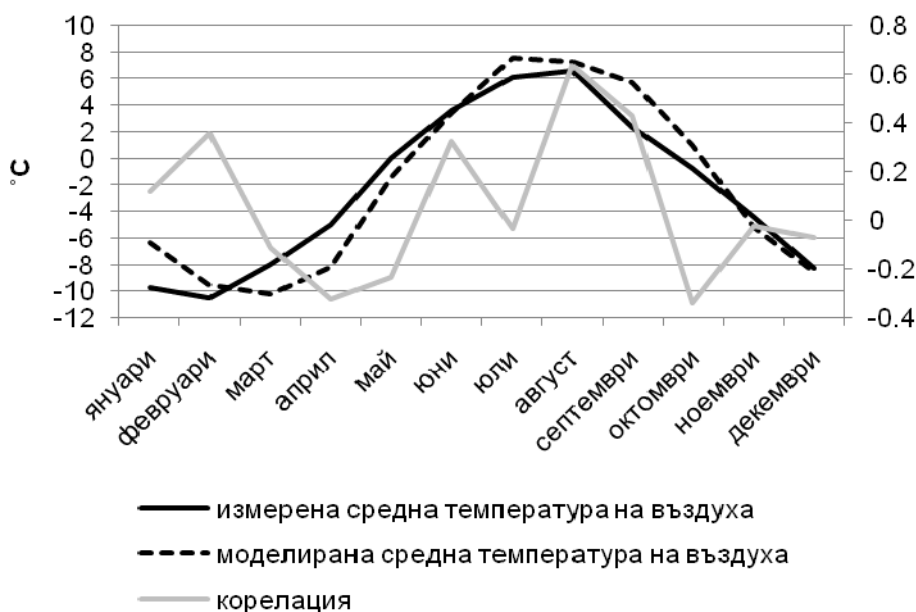
Таблица 2. Корелация на Спирмън между измерените и моделирани от РКМ (базирани на ERA-40 експеримент) температури на въздуха в станция Мусала за периода 1961-2000 г. Статистически значимите стойности са подчертани.

Регионални модели	Станция Мусала
CNRM-Aladin	<b>0.41</b>
DMI-ARPEGE-HIRHAM	<b>0.75</b>
ETHZ-CLM	<b>0.77</b>
RegCM	<b>0.69</b>
RACMO	<b>0.71</b>
HadRM3Q0	<b>0.71</b>
HadRM3Q16	<b>0.7</b>
CRCM	<b>0.68</b>
PROMES	<b>0.64</b>

Таблица 3. Корелация на Спирмън между резултатите от съставените статистически модели (МЛР модели) и измерените температури на въздуха за периода 1961-2000 г. Статистически значимите стойности са подчертани.

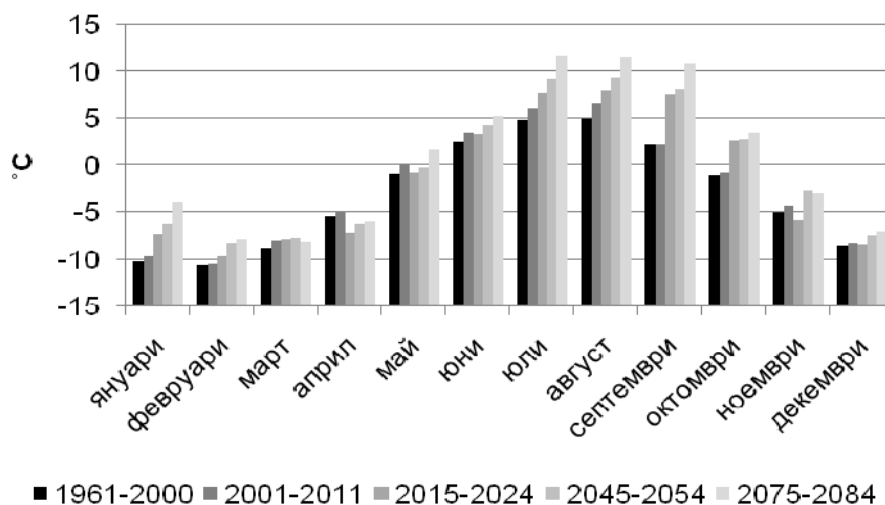
	Мусала
Януари	<b>0.94</b>
Февруари	<b>0.91</b>
Март	<b>0.87</b>
Април	<b>0.91</b>
Май	<b>0.86</b>
Юни	<b>0.60</b>
Юли	<b>0.69</b>
Август	<b>0.92</b>
Септември	<b>0.87</b>
Октомври	<b>0.93</b>
Ноември	<b>0.86</b>
Декември	<b>0.73</b>

Средните стойности на измерената и моделирана температура на въздуха на връх Мусала, както и корелацията между тях за периода 2001 – 2011 г. са показани на фиг. 1. Вижда се, че моделираната температура надценява измерените стойности през лятото, първата половина на есента и януари. Подценяването на измерените стойности е най-голямо през пролетта. Отклоненията се движат в рамките на +3,3 (септември) до -3,2°C (април). Най-добро съвпадение има през месеците ноември и декември. Корелацията, която показва възможностите на модела да предвижда междугодишните промени в температурите на въздуха, е най-висока през февруари, юни, август и септември. Като цяло се налага изводът, че съставеният статистически модел работи най-добре през месеците февруари, юни и август.

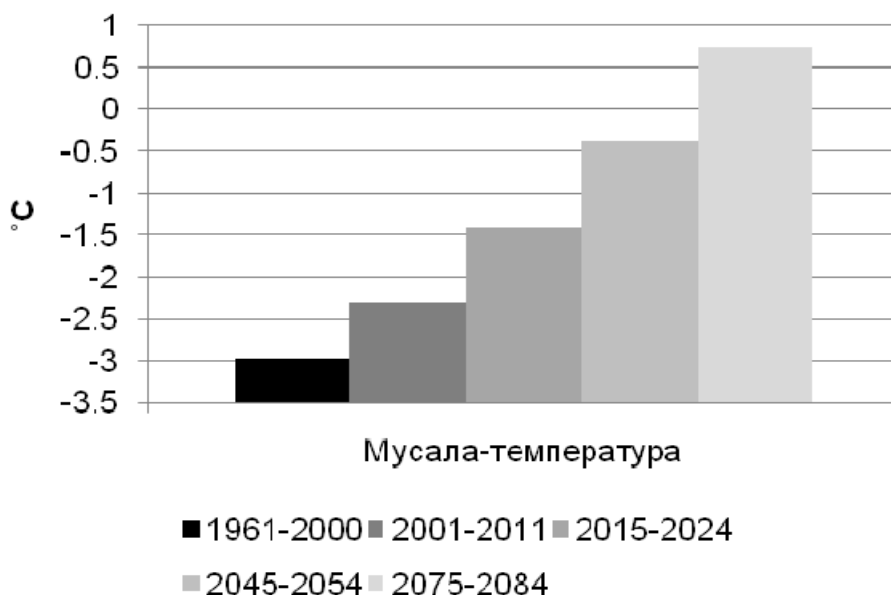


Фиг. 1. Средни стойности на измерената и моделирана температура на въздуха на връх Мусала за периода 2001-2011 г. и съответната корелация на Пийърсън между тях

Проекциите на средните месечни температури, според съставените МЛР модели, на връх Мусала за три бъдещи десетилетия (2015-2024, 2045-2054 и 2075-2084 г.) са показани на фиг. 2. На нея също така са дадени и средните стойности за базовия период (1961-2000 г.), както и за последните 11 години (2001-2011 г.), за да може да се проследят миналото състояние и текущите трендове. От фигурата се вижда, че устойчиво нарастване на средните температури се очаква през почти всички месеци от годината с изключение на март и ноември, при които ще има лек спад през последното проектирано десетилетие (2075-2084 г.). Най-сериозно нарастване, което се потвърждава и от данните за последните 11 години се очаква през месеците януари, юли, август и септември. Също така прави впечатление и фактът, че покачването на температурите през април, май и юни вече задминава проектираните стойности. Ходът на средногодишните стойности на температурата на въздуха на връх Мусала е показан на фиг. 3. От нея се вижда, че температурите се и ще се покачват равномерно през следващите десетилетия като това покачване ще достигне 3,7°C през десетилетието 2075-2084 г. в сравнение с базовия период 1961-2000 г.



Фиг. 2. Тенденции в средномесечните температури на въздуха според избрания сценарий на връх Мусала



Фиг. 3. Прогнозирана средногодишна температура на въздуха

Корелацията между измерените на връх Мусала и моделираните от различните РКМ валежи е показана в таблица 4. Вижда се, че отново както и при температурите на въздуха, моделите, които най-добре ги описват са ETHZ-CLM и DMI-ARPEGE-HIRHAM. И тук всички корелационни коефициенти са статистически значими, но са по-ниски в сравнение с тези при температурите. Това показва, че валежите са по-трудни за моделиране поради тяхната голяма пространствена и температурна изменчивост, както и поради трудностите при измерването на твърдите валежи, които преобладават във високите части на Рила. Корелацията между резултатите от статистическото прецизиране на РКМ (съставените ГЛМ модели) и измерените валежи в станцията връх Мусала са показани в таблица 5. Най-добре описани от статистическите модели са месеците юли, септември и ноември – всички с коефициент над 0,7. Най-лошо са описани месеците май и декември - стойности под 0,5. Всички стойности са статистически значими. Сравнението между двете таблици (4 и 5) показва, че коефициентите във втората са по-високи. Това означава, че статистическото прецизиране на РКМ подобрява моделирането на валежите във високата част на Рила. Трите използвани предиктора (общият валеж за секунда, приведеното към морско равнище налягане и относителната влажност) показват приблизително еднаква тежест през различните месеци.

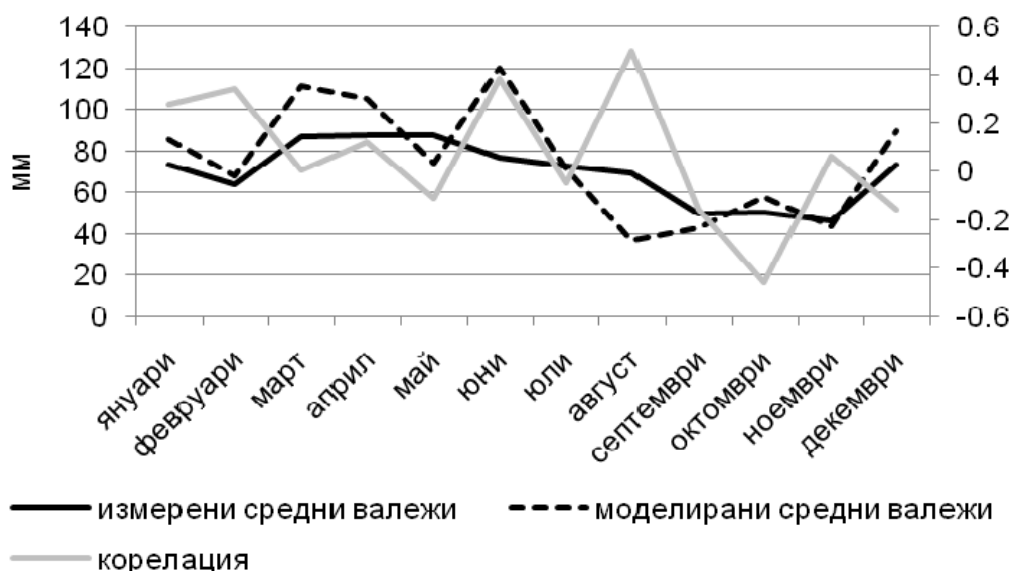
Таблица 4. Корелация на Спирмън между измерените и моделирани (базирани на ERA-40 експеримент) валежи в станцията Мусала за периода 1961-2000 г. Статистически значимите стойности са подчертани.

Регионални модели	Мусала
CNRM-Aladin	<b>0.17</b>
DMI-ARPEGE-HIRHAM	<b>0.41</b>
ETHZ-CLM	<b>0.47</b>
RegCM	<b>0.36</b>
RACMO	<b>0.27</b>
HadRM3Q0	<b>0.33</b>
HadRM3Q16	<b>0.34</b>
CRCM	<b>0.28</b>
PROMES	<b>0.28</b>

Таблица 5. Корелация на Спирмън между резултатите от съставените статистически модели (ГЛМ модели) и измерените валежи за периода 1961-2000 г. Статистически значимите стойности са подчертани.

	Мусала
Януари	<b>0.67</b>
Февруари	<b>0.67</b>
Март	<b>0.61</b>
Април	<b>0.55</b>
Май	<b>0.46</b>
Юни	<b>0.60</b>
Юли	<b>0.72</b>
Август	<b>0.63</b>
Септември	<b>0.80</b>
Октомври	<b>0.61</b>
Ноември	<b>0.74</b>
Декември	<b>0.42</b>

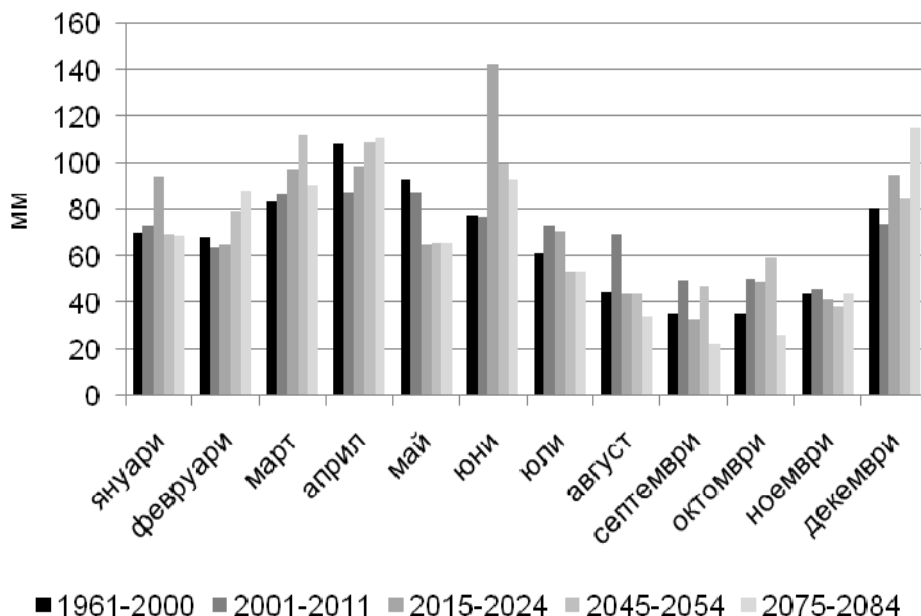
Средните стойности на измерените и моделирани валежи на връх Мусала, както и корелацията между тях за периода 2001 – 2011 г. са показани на фиг. 4. Моделираните валежи надценяват измерените стойности през първата половина на пролетта, юни и през зимата. Подценяването на измерените стойности е най-голямо през август. Отклоненията са от +43 (юни) до -33 мм (август). Най-добро съвпадение има през месеците февруари и ноември. Корелацията, която показва възможностите на модела да предвижда междугодишните промени във валежите, е най-висока през февруари, юни и август. От тук се налага и изводът, че съставеният статистически модел работи най-добре през февруари.



Фиг. 4. Средни стойности на измерените и моделирани валежи на връх Мусала за периода 2001-2011 г. и съответната корелация на Пърсън между тях

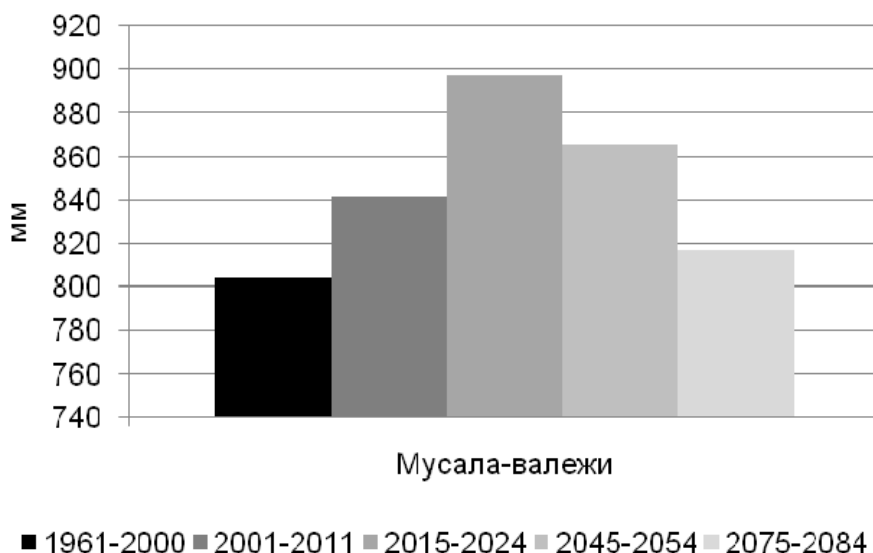
Проекциите на месечните валежни суми, според съставените ГЛМ, на връх Мусала за три бъдещи десетилетия (2015-2024, 2045-2054 и 2075-2084 г.) са показани на фиг. 5. На нея също така са дадени и средните стойности за базовия период (1961-2000 г.), както и за последните 11 години (2001-2011 г.). Вижда се, че трендовете са много разнопосочни. Потвърден (от данните за последните 11 години) тренд на намаление има само през юни, като

прогнозните нива за бъдещите десетилетия са над тези в настоящия момент. За повече месеци (март, май, септември, октомври) е характерно първо нарастване на валежите до десетилетието 2045-2054 г. и след това спад. Базирайки се само върху резултатите от проекциите увеличение на валежите се очаква през февруари, април и декември, а намаление – през януари, юни, юли, август, септември, октомври. Вижда се, че при взимане под внимание само на резултатите от използвания сценарий по-скоро се очаква намаление на валежните количества.



Фиг. 5. Тенденции в средномесечните валежни количества според избрания сценарий на връх Мусала

Ходът на осреднените годишни валежни суми за изследваните периоди на връх Мусала е показан на фиг. 6. От нея се вижда, че до десетилетието 2015-2024 г. съгласно избрания сценарий, годишните валежни суми ще се увеличават (с до 93 мм. в сравнение с базовия период 1961-2000 г.). След това се очаква спад, който ще доведе до намаление на годишните валежни суми с около 80 мм.



Фиг. 6. Прогнозирани средногодишни валежни количества

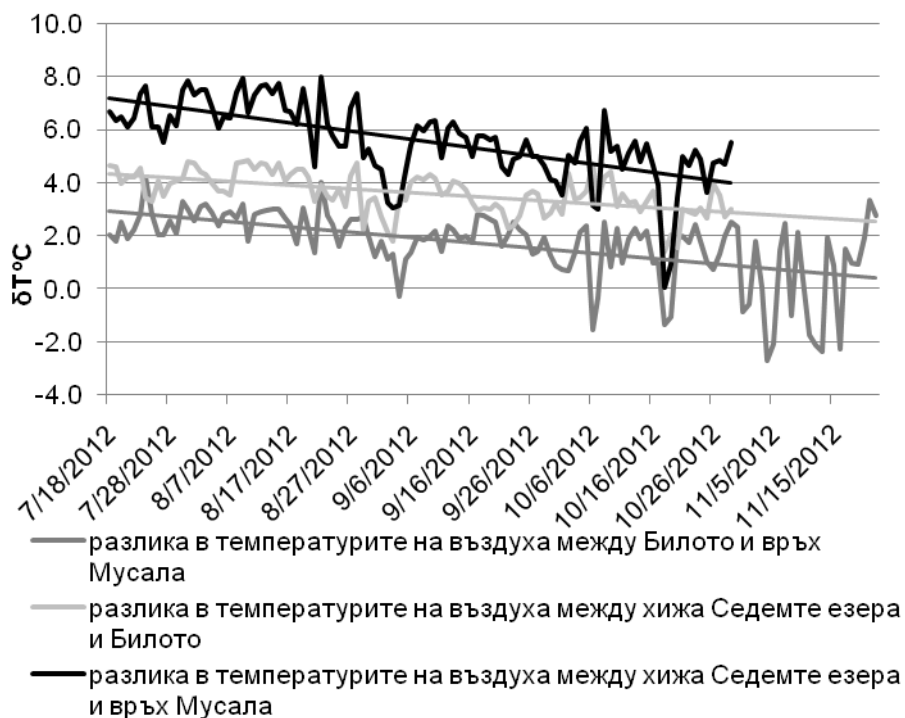
Корелациите между температурите на въздуха на връх Мусала, билото над езерото Сълзата и хижа Седемте езера през лятото и есента на 2012 г. са показани в таблица 6. Вижда

се, че всичките са статистически значими и доста високи като стойности. Отдалечеността на връх Мусала оказва влияние на връзките, което се проявява в малко по-ниските коефициенти. Но при всяко положение те са достатъчно високи, което дава основание данните за температурите на въздуха на връх Мусала да се използват и при изследванията в района на Седемте рилски езера.

Таблица 6. Корелации между среднодневните температури. Статистически значимите са подчертани.

х.Седемте езера-вр.Мусала (29.06-29.10.2012)	<b>0.95</b>
Било-вр.Мусала (18.07-22.11.2012)	<b>0.97</b>
х.Седемте езера-Било (18.07-29.10.2012)	<b>0.98</b>

На фиг. 7 са показани разликите в температурите на въздуха между връх Мусала и двете точки в района на Седемте рилски езера. Вижда се, че ходът на температурите е синхронен. Разликите намаляват в посока към есента, което се дължи на намалението на вертикалния температурен градиент при по-студена атмосфера. Допълнителен фактор при хижа Седемте езера е и разположението ѝ в негативна релефна форма, което при антициклонални студени обстановки допринася за допълнително изстиване на въздуха и съответно намаление на вертикалния температурен градиент. Като цяло този ход на температурите на въздуха също дава основание за използването на измерванията на връх Мусала за изследвания в района на Седемте рилски езера.



Фиг. 7. Разлики между температурите на въздуха на връх Мусала и района на Седемте рилски езера.

В таблица 7 са показани връзките между температурата на въздуха и температурата на повърхностния воден слой във всяко езеро през лятото и есента на 2012 г. Вижда се, че корелациите са статистически значими и с доста високи стойности. Изключение правят измерванията на 29.06 в двете горни езера (Сълзата и Окото). На тази дата те все още съдържат голямо количество лед, който държи температурата на водата им доста ниска и тя се разминава съществено с температурата на околния въздух. При изваждането на това измерване се вижда, че коефициентите стават подобни на тези в другите езера. Като цяло се налага изводът, че съществува добра връзка между температурите на въздуха и на повърхностния воден слой в Седемте рилски езера, което дава възможност и за използването на данните от връх Мусала при изследванията на температурата на водата в езерата.



Корелациите между температурите на въздуха и валежите на връх Мусала и нивата на седемте рилски езера през лятото и есента на 2012 г. са показани в таблица 8. Личи, че валежите имат провoпропорционална, но статистически несъществена връзка с нивата на езерата. Единствено езерото Окото излиза от тази тенденция. Причина за това е първият период на измерване, когато имаме изключително ниски валежни суми, но нивото на езерото не спада, което се дължи на бавното разтопяване на леда в него. То е и едно от най-дълбоките езера и процесът по освобождаването му от леда през лятото е най-бавен и продължителен. Връзките между температурите на въздуха и нивата на езерата са обратнопропорционални, статистически незначими. Като цяло стойностите са по-малки в сравнение с тези за валежите. Това показва, че валежите имат по-силно влияние върху нивата на езерата отколкото температурата на въздуха.

Таблица 7. Връзки между температурата на въздуха и температурата на водата в Седемте рилски езера (статистически значимите са подчертани).

	ТвъзМусала-Твод	Твъз7езера-Твод
Сълзата	0.78	0.65
Сълзата(без 29.06.2012)	<b>0.94</b>	<b>0.91</b>
Окото	0.75	0.67
Окото(без 29.06.2012)	<b>0.97</b>	<b>0.92</b>
Бъбрека	<b>0.92</b>	<b>0.92</b>
Близнака	<b>0.86</b>	<b>0.95</b>
Трилистника	<b>0.92</b>	<b>0.97</b>
Рибно	<b>0.82</b>	<b>0.87</b>
Долно	<b>0.97</b>	<b>0.84</b>

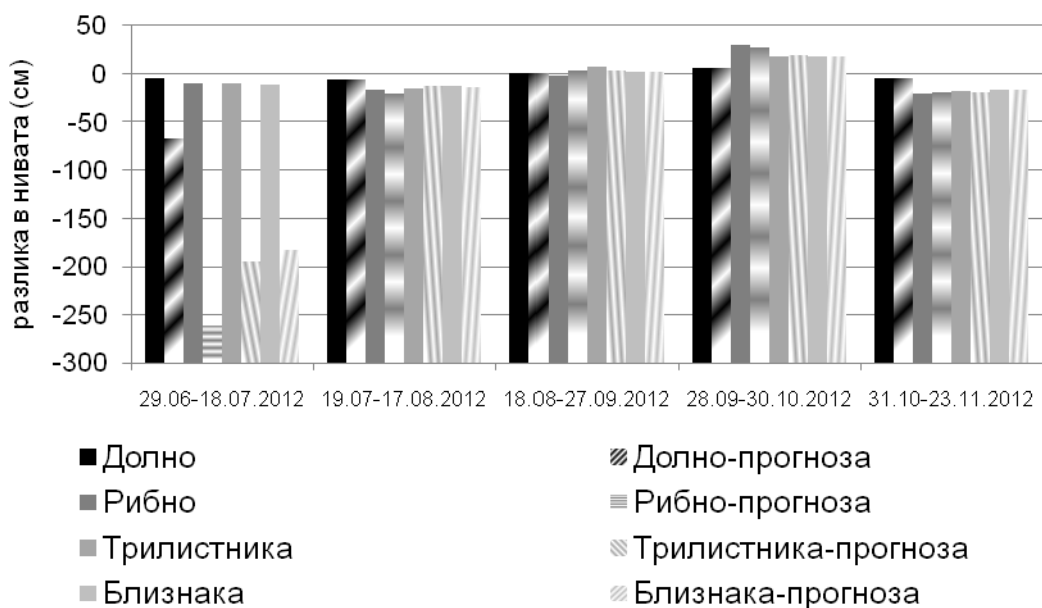
Таблица 8. Корелации между нивата на езерата и температурите на въздуха и валежите (статистически значимите са подчертани).

	Долно	Рибно	Трилистника	Близнака	Бъбрека	Окото	Сълзата
разлика в нивата-валеж (вр.Мусала)	0.34	0.28	0.43	0.41	0.42	-0.06	0.52
разлика в нивата-температура на въздуха (вр.Мусала)	-0.26	-0.13	-0.02	-0.09	-0.07	-0.09	-0.59

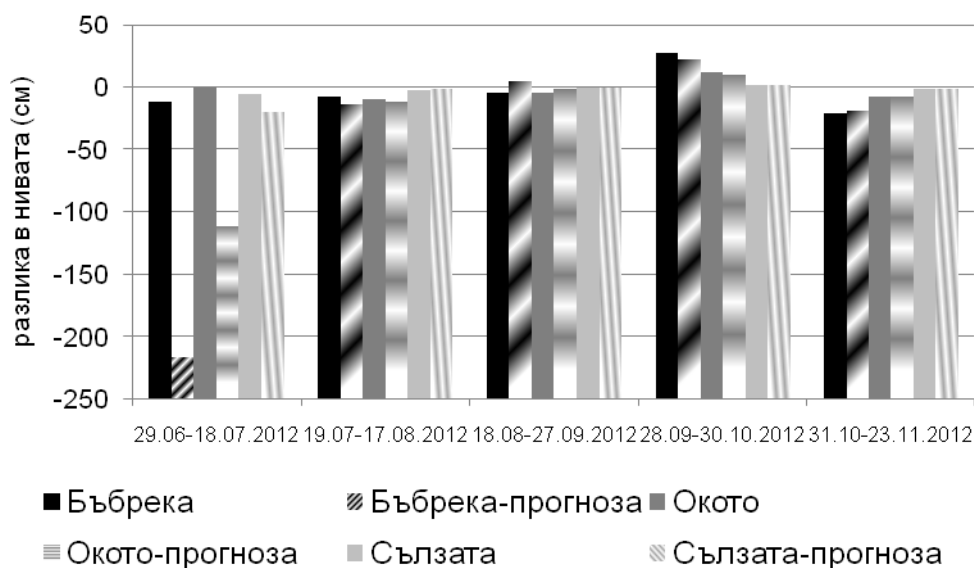
Също така бяха съставени МЛР модели за всяко от езерата, в които предикторите са валежите и температурата на въздуха, а зависимият елемент са нивата на езерата. Резултатите за лятото и есента на 2012 г. са показани в таблица 9. Коригираният коефициент на детерминация  $R^2$  е достатъчно висок при всички езера. Статистически значим е, обаче, само за езерата Долно, Близнака и Сълзата. Като цяло броят случаи, които бяха използвани при статистическото моделиране е все още твърде малък. С натрупването на информация моделите ще станат по-прецизни. Но и на този етап се вижда, че те могат достатъчно добре да описват и прогнозираят нивата на изследваните езера. Това е показано и на фиг. 8.1 и 8.2. Прогнозите на моделите за нивата на езерата за периодите след 19.07 са достатъчно точни. Съществени разлики има само през периода 29.06-18.07. Прогнозираните нива са доста по-ниски от реално измерените. Това се дължи на все още наличен топящ се сняг, който подхранва езерата с допълнителни количества вода. Т.е. в този период фактори за нивата на езерата не са само температурата на въздуха и валежите. Допълнителните изчисления за разликата между моделираните и измерените нива показва, че притокът от топяща се снежна вода се равнява на около 30 мм валеж и е приблизително еднакъв и за седемте изследвани езера. Това е допълнително доказателство, че съставените статистически модели работят добре и ще могат да се използват за прогноза на водните нива.

Таблица 9. Коригиран коефициент на детерминация  $R^2$  за МЛР моделите за зависимостта на нивата на езерата от температурите на въздуха и валежите. Статистически значимите са подчертани.

	Долно	Рибно	Трилистника	Близнака	Бъбрека	Окото	Сълзата
19.07-23.11.2012	<b>0.998</b>	0.895	0.934	<b>0.997</b>	0.636	0.834	<b>0.998</b>



Фиг. 8.1. Прогнозирани от МЛР моделите и измерени нива на езерата през лятото и есента на 2012 г.



Фиг. 8.2. Прогнозирани от МЛР моделите и измерени нива на езерата през лятото и есента на 2012 г.

### Изводи

Основните изводи от изследването са:

- РКМ описват добре температурите на въздуха и до определена степен валежите във високите части на Рила.
- Статистическото прецизиране с използване на много модели и предиктори подобрява резултатите и проекциите.
- РКМ моделите, които се представят най-добре и при температурите на въздуха, и при валежите в Рила са ETHZ-CLM и DMI-ARPEGE-HIRHAM.
- Проекциите, базирани на сценария SRES A1B показват, че средната годишна температура на връх Мусала ще се покачи към десетилетието 2075-2084 с около 3,7°C в сравнение с настоящите нива. Това покачване ще се случва през почти всички месеци от годината, най-силно през лятото и януари.

- Годишните валежни суми на връх Мусала първо ще се покачат до десетилетието 2015-2024, а след това ще спадат. Като цяло не се очаква особено изменение в техните стойности. Тенденциите при месечните суми са разнопосочни и непотвърдени от данните за последните 11 години. Единствено през юни има потвърдено намаление на валежите.
- Резултатите от измерванията в района на Седемте рилски езера показват добра корелация на температурата на въздуха с тази на връх Мусала и с температурата на повърхностния воден слой в езерата. Вижда се и, че нивото на водата в езерата зависи основно от валежите и температурата на въздуха. В тази връзка прогнозираното постоянно покачване на температурите ще доведе вероятно до спадане на нивото и съответно намаляване на площта и на седемте езера. Силата на влиянието на температурата на въздуха, обаче, все още предстои да бъде доуточнена чрез набиране на допълнителна информация.

### Литература:

1. A l e x a n d r o v, V (1997) GCM climate change scenarios for Bulgaria. Bulgarian Journal of Meteorology and Hydrology 8(3-4): 104-120.
2. A l e x a n d r o v, V (1997) Vulnerability of agronomic systems in Bulgaria. Climatic Change, Vol. 36, 1-2: 135-149. DOI: 10.1023/A:1005309911597
3. A l e x a n d r o v, V (1999) Vulnerability and adaptation of agronomic systems in Bulgaria. Climate Research, Vol. 12: 161-173.
4. A l e x a n d r o v, V, Hoogenboom G (2000) The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 104, Issue 4: 315-327. doi:10.1016/S0168-1923(00)00166-0
5. A l e x a n d r o v, V, Genev M (2003) Climate Variability and Change Impact on Water Resources in Bulgaria. European Water, 1/2: 25-30.
6. C h a n g, CH, Knight G, Staneva MP, Kostov D (2002) Water resource impacts of climate change in southwestern Bulgaria. GeoJournal 57: 159-168. DOI: 10.1023/B:GEJO.0000003611.11187.5c
7. Climate change 2007 (2007) IPCC Fourth Assessment Report, <http://www.ipcc.ch/>
8. F a r d a, A, Déué M, Somot S, Horányi A, Spiridonov V, Tóth H (2010) Model ALADIN as regional climate model for Central and Eastern Europe. Studia Geophysica et Geodaetica, Vol. 54, 2: 313-332 DOI: 10.1007/s11200-010-0017-7
9. G a o, X, G i o r g i F (2008) Increased aridity in the Mediterranean region under greenhouse gas forcing estimated from high resolution simulations with a regional climate model. Global and Planetary Change, Vol. 62, Iss. 3-4: 195-209 DOI: 10.1016/j.gloplacha.2008.02.002
10. Hartig EK, Grozev O, Rosenzweig C (1997) Climate change, agriculture and wetlands in Eastern Europe: vulnerability, adaptation and policy. Climatic Change, Vol. 36, 1-2: 107-121. DOI: 10.1023/A:1005304816660
11. K o s t o p o u l o u, E, T o l i k a K, T e g o u l i a s I, Giannakopoulos C, Somot S, Anagnostopoulou C, Maheras P (2009) Evaluation of a regional climate model using in situ temperature observations over the Balkan Peninsula. Tellus A, Vol. 61, Iss. 3: 357-370 DOI: 10.1111/j.1600-0870.2009.00389.x
12. Knight G, Raev I, Staneva MP (2004) Drought in Bulgaria: a contemporary analog for climate change. Ashgate studies in environmental policy and practice, ISBN 0 7546 4215 1
13. Ö n o l, B, Semazzi FHM (2009) Regionalization of Climate Change Simulations over the Eastern Mediterranean. Journal of Climate, 22: 1944-1961. DOI: 10.1175/2008JCLI1807.1
14. W i l k s, DS (2006) Statistical Methods in the Atmospheric Sciences, Volume 91, Second Edition (International Geophysics), Elsevier.