

## Impact of expected climate change on the average yields of apples in the Southeastern Region of Bulgaria

Petia Branzova

*Economic Research Institute, Bulgarian academy of sciences, Bulgaria*

**Abstract:** The subject of this paper is the impact of expected climatic changes by 2050 on the average yields of apples in the Southeast region of Bulgaria. The aim of the work is to investigate the empirical links between average apple yields and the climatic factors on which they depend. Based on these links to estimate the yields of apples in the Southeastern region by 2050.

**Keywords:** Southeastern region of Bulgaria, climate change, agriculture.

## Влияние на очакваните климатични промени върху средните добиви от ябълки в Югоизточен район на България

Петя Брънзова

*Институт за икономически изследвания, Българска академия на науките - София*

**Резюме:** Предмет на разглеждане в настоящата работа е отражението на очакваните климатични промени до 2050 г. върху средните добиви на ябълки в Югоизточен район на България. Целта на работата е да се проучат емпиричните връзки между средните добиви от ябълки и климатичните фактори, от които те зависят. На базата на тези връзки да се прогнозира добивите от ябълки в Югоизточния район до 2050 г.

**Ключови думи:** Югоизточен район на България, климатични промени, земеделие.

### Въведение

Изследванията на климата, извършени през последното десетилетие в цяла Европа, показват тенденция към промени свързани с повишение на средногодишните температури, увеличение на валежите в Северна Европа и слабо понижение в Южна Европа. Очаква се тези промени да се отразят на всички компоненти на европейските земеделски екосистеми (например на вида на подходящите за района култури, добивите, животновъдството и др.). В северните райони изменението на климата може да доведе до положителни ефекти върху селското стопанство чрез въвеждане на нови видове култури и сортове, по-високи добиви, както и разширяване на зоните, подходящи за отглеждане на културите. Недостатъците могат да бъдат увеличаване на необходимостта от растителна защита, рискът от извличане на хранителните вещества и изчерпване на органичните вещества в почвата. В южните райони ще преобладават недостатъците. Възможното нарастване на недостига на вода и увеличаването на броя екстремни метеорологични събития може да доведе до по-ниски добиви, силна променливост и непредсказуемост на доходността на продукцията, както и намаляване на подходящите площи за традиционните култури. Тези ефекти могат да засилят съществуващата тенденция за интензификация на селското стопанство в Северна и Западна Европа и за екстензификация в Средиземноморието и Югоизточна Европа.

Необходимо е да бъдат въведени стратегии за адаптиране с цел да се намалят отрицателните ефекти и да се използват възможните положителни ефекти от изменението на климата. Необходимо е да се разглеждат както краткосрочни корекции (напр. промени във вида на културите, сортовете и датите на засяване), така и дългосрочни адаптации (например преразпределение на земеделската земя и селскостопанските системи). Трябва да се има предвид и факта, че различните селскостопански екосистеми в Европа имат различна

чувствителност към промените в климата и различен капацитет на адаптация. Ето защо тези промени ще им се отразят по различен начин. По-специално, селското стопанство в региона на Средиземно море и Югоизточна Европа изглежда по-уязвимо отколкото в други европейски региони. Това изисква значителни усилия за справяне с промените както на континентално, така и на регионално ниво.

Европейската аграрна наука и агроиндустрия имат значителни умения и ноу -хау, които чрез трансфер на технологии и насърчаване на иновациите могат да бъдат използвани за подобряване на способността за адаптация на по-слабо развитите региони на света, които като цяло ще бъдат по- силно засегнати от изменението на климата.

Производителността на европейското селско стопанство е по принцип висока, особено в Западна Европа. Средните добиви от зърнени култури в страните от ЕС са повече от 60% по-високи от средните за света. Общата селскостопанска политика на ЕС през последното десетилетие е реформирана с цел да се намали свръхпроизводството, да се намали въздействието върху околната среда и да се подобри развитието на селските райони. Тези реформи имат и друга задача - да ускорят процеса на структурно приспособяване, което води до по-големи и по-малко на брой ферми (Marsh, 2005).

Глобалните селскостопански системи се различават значително по своята чувствителност към изменението на климата и по уязвимостта си към промените в климатичните режими. Като цяло се счита, че интензивните земеделски системи в Северозападна Европа имат ниска чувствителност към изменението на климата, тъй като дадена промяна в температурата или валежите има слабо въздействие (Chloupek et al., 2004), за което фермерите имат ресурси да се адаптират и да го компенсират чрез промяна на управлението. Тези системи могат следователно да отговорят положително на скромно климатично затопляне (Olesen and Bindi, 2002 г.). От друга страна някои по-слабо развити селскостопански системи, намиращи се в отдалечени райони могат да бъдат силно засегнати от изменението на климата (Reilly and Schimmelpfennig, 1999 и Darwin and Kennedy, 2000). По-специално увеличаването на екстремните събития както за температурата, така и за валежите ще се отрази на уязвимостта на европейските агроecosистеми към климатичните условия. Очаква се измененията на климата да повлияят различно върху селскостопанските системи в различните части на света (Parry et al., 2004). Резултатите зависят от климатичните и почвени условия, посоката на промяна, както и наличието на ресурси и инфраструктура, за да се справят с промяната. На територията на европейския континент съществуват големи различия в климатичните условия, почвите, използването на земята, инфраструктурата, политическите и икономическите условия (Boima et al., 1998 ). Тези различия се очаква значително да повлияят на отзивчивостта към климатичните промени (Olesen and Bindi, 2002 г.).

В областта на растениевъдството увеличаването на концентрацията на CO<sub>2</sub> в атмосферата стимулира добива на C<sub>3</sub> култури и в по-малка степен влияе върху C<sub>4</sub> културите (Fuhrer , 2003). Направените оценки показват, че и в двата случая увеличението на добивите е незначително в сравнение с увеличението, което се постига чрез управление и селекция на културите (Ainsworth and Long, 2005 и Amthor, 1998). Някои модели на CO<sub>2</sub> ефектите се базират на резултати от приложни проучвания от 1980 -те години, които преувеличават резултатите от увеличеното CO<sub>2</sub> върху растениевъдството (Long et al., 2006 ). Тези моделни прогнози следва да се разглеждат с повишено внимание, тъй като те могат значително да надценяват положителните ефекти от повишената концентрация на CO<sub>2</sub> в атмосферата.

Увеличаването на температурата се отразява главно на развитието на растенията. При затопляне активният растеж започва по-рано, растенията се развиват по-бързо, и периодът на потенциална вегетация се удължава. Това може да има най-голям ефект в по-студените региони. От друга страна повишаването на температурата при определени фази от тяхното развитие може да им повлияе неблагоприятно.

Много плодни насаждения са податливи на пролетните мразове по време на цъфтежа. Климатичното затопляне ще измести към по-ранни дати и последните пролетни слани и датите

на цъфтеж. В този смисъл рискът от увреждане на цветни пъпки, причинено от късна слана има вероятност да остане непроменен (Rochette et al., 2004). От друга страна е възможно да се увеличат проблемите с вредителите и различните заболявания (Salinari et al., 2006).

Екстремните климатични събития, като периоди на висока температура, силни бури, засушавания или наводнения, могат сериозно да нарушат производството на растителни култури. Единични екстремни събития обикновено нямат дълготрайни последици за селскостопанската система. Въпреки това, когато честотата на подобни събития се увеличава, селското стопанство трябва да отговори или чрез адаптиране, или чрез изоставяне. Често културите реагират нелинейно на промените в условията за отглеждането им и имат прагови реакции. Това значително увеличава значението на климатичните промени и честотата на екстремните събития за количеството, стабилността и качеството на добивите (Porter and Semenov, 2005). Така увеличаването на температурната променливост води до увеличаване на променливостта в добивите и намаляване на средния добив (Trnka et al., 2004). Затова предвижданите увеличения на температурната променливост над Централна и Южна Европа (Schär et al., 2004) могат да имат тежки последици за земеделското производство в тези области. В допълнение, краткосрочните екстремни температури могат да предизвикат силни ефекти на намаляване на добивите (Porter and Gawith, 1999; Wheeler et al., 2000). Така краткосрочно увеличаване на температурата (до над 35 °C; Porter and Semenov, 2005) по време на цъфтежа и оформянето на плода при плодните дървета, може значително да намали добивите. Засушаването по време на тези периоди може да има подобен ефект.

За да се избегнат или поне да се намалят негативните ефекти и да се използват възможните положителни ефекти от промените в климата, са предложени няколко стратегии за агрономическа адаптация на селското стопанство. При изследване на възможностите за адаптиране на селскостопанските системи към измененията на климата е необходимо да се обмислят всички агрономически решения, взети на ниво ферма (Kaiser et al., 1993). В този контекст са особено важни икономическите съображения (Antle, 1996). Резултатите от анализите на въздействието и адаптирането към климатичните промени на ниво ферма показват, че ефектът е положителен, ако адаптирането се прилага цялостно (Mendelsohn and Dinar, 1999), т.е. в някои случаи да се приложат промени в използването на земеделската земя (Darwin, 2004; Rounsevell et al., 2006). Предлаганите агрономически стратегии включват както краткосрочни корекции, така и дългосрочни изменения (Easterling, 1996). Повечето краткосрочни корекции изискват сравнително малко разходи за земеделските производители, тъй като те често са просто разширяване на съществуващите схеми за справяне с климатичните промени. В дългосрочен план обаче адаптации и промени в системите за отглеждане, използване на земята и т.н. могат да донесат значително по-високи разходи. Някои от тези разходи могат да бъдат намалени, ако бъдат предприети навременни действия (Stern, 2006). В този смисъл съществува необходимост да се анализират нуждите от такива планирани варианти за адаптация, разходите за тях и техните времеви хоризонти както на регионални, така и на национални и международни нива. По-често се налага да се предприемат мерки за адаптация към промени, предизвикани от екстремни и редки метеорологични явления, особено когато тези събития стават повтарящи се.

Ето защо земеделието и конкретно добивите в растениевъдството са основен обект на научен интерес в изследванията на въздействията на климата.

Селското стопанство заема важна роля в икономиката на ЮИР. В преобладаващата част от територията на региона то се явява доминиращ отрасъл, а в някои части и единствен поминък на населението. Налице са благоприятни почвено- климатични условия, добри традиции и опит, които обуславят отглеждането на почти всички видове култури, характерни за страната и за този климатичен пояс.

### Материал и методи

За целите на доклада се използват регионалните климатични версии на модела REMO и климатичен сценарий A1B за периода 1961- 2050 год. (получени по проект финансиран от ФНИ на УНСС). Използвани данни са за средноденонощна месечна сума на валежа в милиметри, средна температури на въздуха градуса Целзий.

Тук трябва да се отбележи спецификата на използването на статистически методи в метеорологията.

Всички постановки и методи за решаване на статистически задачи трябва много внимателно да се прилагат към метеорологичната информация. Много често основното изискване на класическия вероятностен модел за независимост на опитите над случайната величина не може да бъде изпълнено в метеорологията. Тъй като метеорологичните елементи са свързани във времето, поредицата от данни не може да се счита като съставена от независими реализации – ако температурата на въздуха днес е плюс 25°C, то утре не може да е минус 25°C, независимо, че двете стойности принадлежат на генералната съвкупност. Втори важен момент при използване на метеорологични данни е, че те в една или друга степен имат функционална връзка помежду си. Това е така, защото те са част от едно общо цяло – земната атмосфера. В класическите работи по използване на статистически методи в метеорологията (Panofsky H.A., Brier G.W., 1958), (Сираков Д., 1981) е изяснен въпросът с прилагането им.

Приемайки тези постановки, създаването на статистическа прогноза с използване на метеорологични данни преминава през четири етапа:

1. Разделяне на наличните данни в две групи: обучаваща и контролна извадка, като не е задължително те да са с еднакъв брой данни;
2. Изследване по обучаващата извадка на връзката на предиканта с различен брой и вид предиктори и избор на най-удачните предиктори;
3. Получаване на регресионното уравнение по обучаващата извадка;
4. Проверка на надеждността и оценка на грешката от прогнозата на полученото регресионно уравнение, с използване на реалните данни от контролната извадка като предиктори и сравнение на прогнозирания предикант с реалната му стойност.

Тъй като в метеорологията не могат да се осигурят независими реализации при използване на метода на множествена стъпкова регресия, критериите за изключване на зависими величини се занижават спрямо теорията. Наличието на функционална връзка между метеорологичните параметри води до това, че увеличаването на броя на предикторите е равнозначно на по-детайлна прогноза, но прогностичното уравнение става по-малко устойчиво.

Данните за средногодишните добиви от ябълки е за периода 1961-2016 г. са получени от годишниците на Националния статистически институт.

За получаване на количествената оценка на въздействието на климатичните промени върху добивите от ябълки в ЮИР е използван метода на регресионния анализ. Това е класически метод и все още се използва при решаване на редица задачи от типа на разглежданата тук.

Количествената оценка е получена чрез следния алгоритъм:

- На първия етап, за получаване на регресионните връзки, се формира редици с данни- метеорологични и данни за средните добивите на изследваната култура за обучаващата извадка: периода 1961-2010 г.;
- На втория етап се използва метода на множествена регресия за определяне на коефициентите на търсените регресионни уравнения и статистическа оценка на достоверността на получените връзки;
- На третия етап се прави оценка по реален материал на грешката при прогноза на получените регресионни уравнения по контролна извадка за периода 2011- 2016 г. Тя е на база сравнение на реалните добиви на ябълки в ЮИРП, с прогнозираните;

➤ На четвъртия етап по получените регресионни уравнения и симулираните от климатичните модели метеорологични данни за периода 2020-2050г. се прави прогноза за добивите от ябълки в ЮИР спрямо средния добив за съответния базов период.

### **Резултати и дискусия**

Извършена е проверка на разпределението на данните. За всички използвани данни хипотезата за принадлежност към нормално разпределение не може да бъде отхвърлена при ниво на значимост 0.95. Това позволява прилагането на параметрични статистики. В изследването се използва стъпкова множествена регресия, до изчерпване на независимите предиктори при ниво на значимост 90%. Като критерий за прекратяване на комбинациите от предиктори се използва изпълнение на условието за: минимална средноквадратична грешка на модела, максимален коефициент на корелация  $R$  между предикант и предиктори и минимален коефициент  $C_p$  на статистиката на Mallow. Допълнително е зададено ограничение на броя на използваните в регресионното уравнение предиктори – до 15 от включените общо 36. Изборът на предиктори винаги се прави на базата на допълнителни знания за съществуваща връзка с предиканта. Друг важен въпрос е броят на предикторите. В идеалния случай, колкото по-голям е той, толкова по добра е прогнозата. На практика съществуват две ограничения. Първото е свързано с независимост на наблюденията. Както беше споменато, в метеорологията не могат да се осигурят независими реализации. По тази причина, при използване на метода на множествена стъпкова регресия, критериите за изключване на зависими величини се занижават спрямо теорията. Второто се дължи на функционалната връзка между метеорологичните параметри. Ефектът от това е че, увеличаването на броя на предикторите е равнозначно на по-детайлна прогноза, но прогностичното уравнение става по-малко устойчиво.

Като първа стъпка трябва да бъде избран базисния период за добивите от селскостопанските култури. При него, предикторите са получени със същия метод, както и за прогностичната редица от данни. За разлика от прогностичния период, където все още няма данни за контрол, при базисния период се избира период от време, който вече е изминал. За него вече има реални данни за прогнозираната величина, в случая добив на ябълки. От гледна точка на математическата статистика, изборът на този базисен период не е от съществено значение, тъй като при получаване на регресионното уравнение, той ще окаже влияние само на свободния член. От методическо значение е добре това да е период, при който може да се очаква запазване на начина на събиране и обработка на информацията от националната статистика до оценявания период, т.е. максимално близо до периода 2020-2050 г. За целите на изследването е избран периодът 2011-2016 г.

Като втора стъпка се определят значимите предиктори като с помощта на статистически софтуер Statgraph са проведени 6368 теста по метода на стъпковата регресия. Те са получени от симулациите с модела REMO, в нашият случай това са средномесечните температури за месеците януари (T1), февруари (T2), май (T5), август (T8), октомври (T10) и ноември (T11), средномесечните количества валежи за месеците юни (R6) и септември (R9) и относителната влажност за месеците- февруари (Rh2), април (Rh4), юни (Rh6), юли (Rh7), септември (Rh9) и декември (Rh12).

Резултати от регресионния анализ, извършен с програма за статистически анализ Statgraphics Plus 5.1., са представени в таблици 1 и 2.

Статистиката R-Squared показва, че полученият модел „обяснява” 51,60% от променливите, определящи добивите от ябълки в ЮИР. Предиктори, които не участват в получената регресионна връзка определят 35.08%.

Стандартната грешка на оценката (Standard Error of Est.) показва, че стандартното отклонение на оценката е 2866. Средната абсолютна грешка Mean absolute error (MAE) от 2065 е средната стойност от остатъците.

**Таблица 1.** Резултати от регресионния анализ

<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Standard Error</i>	<i>T Statistic</i>	<i>P-Value</i>
CONSTANT	-7713,59	13638,5	-0,565575	0,5748
R9	599,476	605,136	0,990647	0,3277
Rh4	96,797	83,5926	1,15796	0,2536
T1	294,464	218,752	1,34611	0,1857
T2	-717,707	199,404	-3,59927	0,0009
T5	-880,163	391,743	-2,24679	0,0301
T8	861,721	291,532	2,95583	0,0052
T10	782,676	261,201	2,99645	0,0046
T11	-341,004	240,646	-1,41703	0,1640
Rh2	-119,518	71,0399	-1,68241	0,1001
Rh6	-305,531	112,311	-2,72041	0,0095
Rh7	130,982	69,6388	1,88087	0,0671
Rh9	156,727	95,1389	1,64734	0,1071
Rh12	160,469	63,3023	2,53497	0,0152
R6	-1818,03	1389,81	-1,30811	0,1981

**Таблица 2.** Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	3,59221E8	14	2,56587E7	3,12	0,0023
Residual	3,37E8	41	8,21952E6		
Total (Corr.)	6,96221E8	55			

R-squared = 51,5958 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 35,0676 percent

Standard Error of Est. = 2866,97

Mean absolute error = 2064,95

Durbin-Watson statistic = 1,4092 (P=0,0068)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,266589

Регресионното уравнение за ЮИР, даващо връзката между добивите на изследваната селскостопанска култура спрямо базисния период и метеорологичните параметри за модела REMO е:

Ябълки ср. добиви кг/ха =  $-7713,59 + 599,476 \cdot R9 + 96,797 \cdot Rh4 + 294,464 \cdot T1 - 717,707 \cdot T2 - 880,163 \cdot T5 + 861,721 \cdot T8 + 782,676 \cdot T10 - 341,004 \cdot T11 - 119,518 \cdot Rh2 - 305,531 \cdot Rh6 + 130,982 \cdot Rh7 + 156,727 \cdot Rh9 + 160,469 \cdot Rh12 - 1818,03 \cdot R6$

За историческия период 1961-2016 год. средният добив на ябълки в югоизточен район на България е **8396 кг/ха**.

**Прогнозиране на добивите от ябълки в югоизточния район на България за периода 2020-2050 г.**

Първоначално, на основата на полученото регресионно уравнение от историческата извадка се пресмятат (прогнозират) добивите от ябълки за контролния период. Това дава възможност да се оцени по реален материал приложимостта на полученото регресионно уравнение. В таблица 3 са дадени резултатите от сравнението между прогнозираните с получените регресионни уравнения в добивите от ябълки в ЮИР и реално отчетените. Определена е и разликата между тях в абсолютна стойност като процент.

**Таблица 3.** Резултати от сравнението между прогнозираните с получените регресионни уравнения в добивите от ябълки в ЮИР и реално отчетените

	реални добиви	прогнозни добиви	Изменение	разлика м/у прогноза и реални добиви в кг/ха	разлика м/у прогноза и реални добиви в %
2011	8832	5314	0,60	-3518	-39,8
2012	8778	6880	0,78	-1898	-21,6
2013	15815	11756	0,74	-4059	-25,7
2014	12592	10940	0,87	-1652	-13,1
2015	15128	14315	0,95	-813	-5,4
2016	14276	10875	0,76	-3401	-23,8

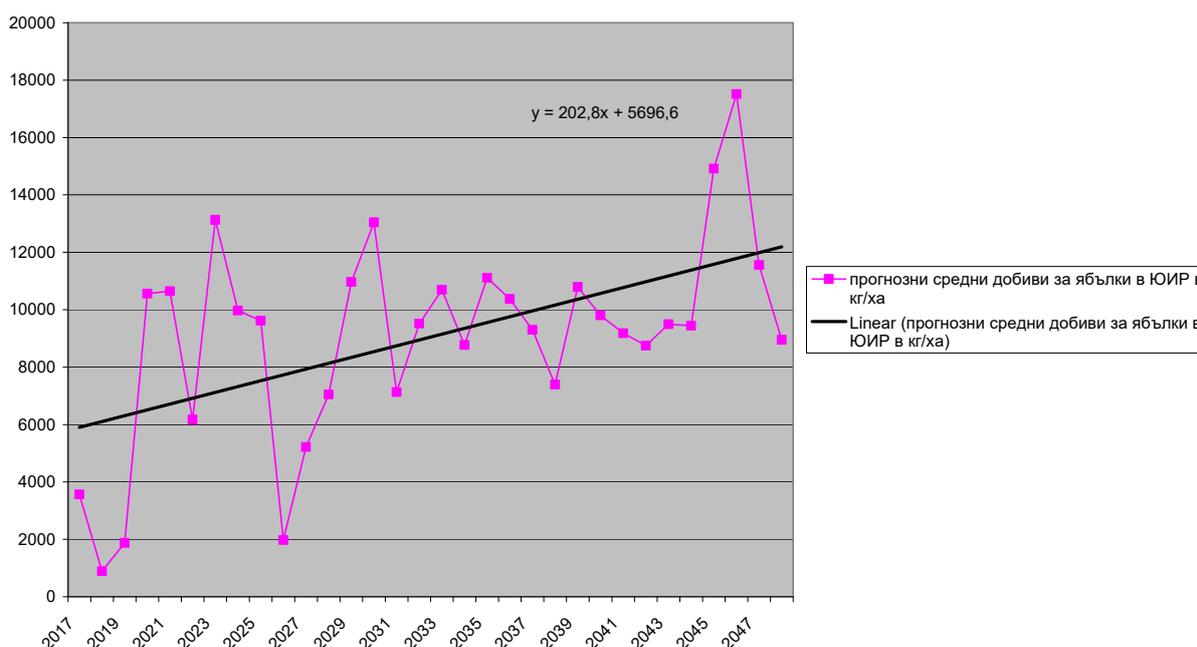
*Източник: Собствени изчисления*

Контролната извадка показва, че при прогнозата има понижаване на добива от ябълки, спрямо реалния. Това понижаване е в рамките на установената при статистическия анализ грешка на регресионното уравнение.

На втория етап се определят средните добивите от ябълки за ЮИР за периода 2020-2050 год.. Получените резултати по симулациите с модела REMO за изследваната селскостопанска култура са дадени на фиг. 1.

На същата графика е показан и линейния тренд, характеризиращ изменението на добивите от ябълки за изследвания период. От параметрите на линията на тренда се вижда, че добивите ще се увеличават през периода 2020 – 2050 год. средногодишно с 203 кг/ха. Като се има предвид резултата от контролната извадка (понижаване на прогнозните резултати спрямо реалните), то резултатите от добивите на ябълки могат да се очакват и още по-високи от пресметнатите.

Средни добиви от ябълки за ЮИР за периода 2020-2050 год.



**Фиг. 1.** Получени резултати от симулациите с модела REMO

На базата на получените числови стойности на прогнозата за средногодишен добив на ябълки, може да се изчисли средногодишния добив за периода 2020 – 2050 г. По данните за добивите за периода 1961-2016 г. също могат да се изчислят средните добиви за този период и да се направи сравнение за двата периода. Въз основа на това сравнение може да се направи извода, че:

Очакваният среден добив от ябълки в югоизточен район на България за периода 2020-2050 г. е 8883 кг/ха или увеличаване с повече от 487 кг/ха спрямо периода 1961-2016 г.

### **Заклучение**

На базата на получения емпиричен модел за връзката на добивите от ябълки с метеорологичните условия и прогностичен модел за климата на България са прогнозирани средните добиви за периода 2020 – 2050 г. за Югоизточен район. Според прогнозните резултати, средногодишните добиви от ябълки ще са 8883 кг/ха или с 487 кг/ха повече от тези в периода 1961-2016 г.

### **Използвана литература**

1. Годишници на НСИ 1961-1999 г.
2. Мишев Пл. Проект ДТК 02/05 „Климатичните промени и българското земеделие: икономическо въздействие и уязвимост“, Фонд „Научни изследвания“, 2009.
3. Ainsworth, E.A., Long, S.P., 2005. What have we learned from 15 years of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO<sub>2</sub>.
4. Antle, J.M., 1996. Methodological issues in assessing potential impacts of climate change on agriculture.
5. Bouma, J., Varallyay, G., Batjes, N.H., 1998. Principal land use changes anticipated in Europe.
6. Darwin, R., 2004. Effects of greenhouse gas emissions on world agriculture, food consumption, and economic welfare.
7. Fuhrer, J., Beniston, M., Fischlin, A., Frei, C., Goyette, S., Jasper, K., Pfister, C., 2006. Climate risks and their impact on agriculture and forests in Switzerland.
8. Kaiser, H.M., Riha, S.J., Wilks, D.S., Rossiter, D.G., Sampath, R., 1993. A farm-level analysis of economic and agronomic impacts of gradual climate warming.
9. Long, S.P., Ainsworth, E.A., Leakey, A.D.B., Nsberger, J., Ort, D.R., 2006. Food for thought: Lower-than-expected crop yield stimulation with rising CO<sub>2</sub> concentrations.
10. Marsh, J., 2005. The implications of Common Agricultural Policy reform for farmers in Europe.
11. Olesen, J.E., Bindi, M., 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy.
12. Parry, M.L., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M., Fischer, G., 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios.
13. Porter, J.R., Semenov, M.A., 2005. Crop responses to climatic variation.
14. Schar, C., Vidale, P.L., Lathi, D., Frei, C., Haberli, C., Liniger, M.A., Appenzeller, C., 2004. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves.
15. Stern, N. "Stern Review on The Economics of Climate Change, 2006.