



Variations of the yearly runoff in Bulgaria up to the end of 21st century at the basis of three climatic scenarios

Eram Artinyan^{*1}, Petko Tsarev¹, Kamelia Kroumova²

National Institute of Meteorology and Hydrology (NIMH)

¹139, Ruski Blvd., Plovdiv 4000, Bulgaria

²66, Tsarigradsko shose Blvd, Sofia 1784, Bulgaria

Abstract: The article presents summarized data on the projected change in the annual amount of river runoff in the four water management districts in Bulgaria, according to three different scenarios of climate change by the end of the 21st century. For the purposes of this study, spatial model data for the multiannual average runoff were used, with a resolution of 0.5° obtained from the European project Copernicus Climate Change Service for three 30-year periods: 2011-2040, 2041-2070 and 2071-2100. The data are simulated on the basis of climate scenarios RCP 2.6, 4.5 and 8.5. After comparing the results of the simulations for the reference period 1971-2000 with the national runoff data, two of the many available model combinations were selected. Data obtained on the basis of the global climate model EC-EARTH and the regional climate model RCA4 were used as input in one of the two selected implementations of the hydrological model VIC. In the second case, the input data are from the MPI-ESM and REMO models respectively. In scenario RCP 2.6, an increase in the annual amount of runoff is forecasted until the end of the century, compared to the reference period 1971-2000 for the Aegean Basin. In opposition, a slight decrease for the Danube and Black Sea Basins is forecasted. The trend for relative decrease of the outflow is clearer in the scenario RCP 8.5 for the period 2041-2100. For the Aegean basins the reduction is more significant - up to minus 19.8%. The results complement the information available so far on the effect of climate change on Bulgaria's water resources.

Key words: Climate change, river runoff, surface waters.

Изменение на годишната сума на оттока в България до края на 21 век на основата на три климатични сценария

Ерам Артинян¹, Петко Царев¹, Камелия Крумова²

Национален Институт по Метеорология и Хидрология,

¹бул. Руски 139, 4000 Пловдив, ²бул. Цариградско шосе 66, 1784 София

* eram.artinian@meteo.bg

Резюме: Статията представя обобщени данни за прогнозираното изменение на годишната сума на речния отток в четирите басейна за управление на водите в България, вследствие на три различни сценария на климатични промени до края на 21 век. За целите на това изследване са използвани пространствени моделни данни за средно многогодишната сума на оттока с резолюция 0.5° получени от европейския проект Copernicus Climate Change Service за три 30 годишни периода: 2011-2040, 2041-2070 и 2071-2100 г. Данните са симулирани на основата на климатични сценарии RCP 2.6, 4.5 и 8.5. След сравнение на резултатите от симулациите за референтния период 1971-2000 г. с националните данни за оттока, са избрани две от многото налични комбинации от модели. За вход на една от двете селектирани реализации на хидрологичния модел VIC, са използвани данни получени на базата на глобален климатичен модел EC-EARTH и регионален климатичен модел RCA4. При втория случай данните за входа са съответно от моделите MPI-ESM и REMO. При сценарий RCP 2.6 се прогнозира увеличение на годишната сума на оттока, спрямо референтния период 1971-2000г., до края на века, за Беломорския басейн и слабо намаление за Дунавски и Черноморски басейни. По-отчетлива е тенденцията за относително намаление на оттока при сценарий RCP 8.5 за периода 2041-2100 г., като за Беломорските басейни редуцията е по-съществена – до минус 19.8%. Изводите допълват наличната до момента информация относно ефекта на климатичните промени върху водните ресурси на България.

Ключови думи: Климатични промени, речен отток, модул на оттока, повърхностни води

1. УВОД

Климатичните промени протичащи в XXI век в планетарен мащаб са съществено предизвикателство за природата и обществото. Независимо от генезиса им, според преобладаващото научно мнение те оказват силно въздействие както чрез интензифициране на краткосрочните екстремални прояви на метеорологичното време, свързани с интензивни валежи, наводнения и епизоди с бурен вятър, така и чрез дългосрочни явления, като редуция на използваемите водни ресурси, засушаване, покачване на нивото на световния океан, които имат съществено значение за развитието на обществото.

Използваемите водни ресурси зависят и от разпределението на последните във времето съобразно с нуждите на населението и икономиката. В този смисъл, ако климатичните промени водят до увеличение на оттока, примерно през зимата, но за сметка на другите сезони, през лятно-есенния период би се почувствала липса на вода в райони без наличие на водохранилища с годишно изравняване на речния отток. Според климатично изследване на Индекса на използване на водите (Water Exploitation Index - WEI), включващо Европейските страни (Flörke et al., 2011), при сценарий „Economy First ” (EcF), през 2050 г. за преодоляване на сушата ще има

необходимост от увеличение на водоползването през летния период, включително за напояване, спрямо общото потребление, в северна и южна България, съответно с до 150% и до 250%.

Table 1. Forecasted rise of yearly average air temperature [°C] against the referent period 1986–2005 according to the three RCP scenarios (IPCC, 2013).

Таблица 1. Прогнозно покачване на средно-годишната температура на въздуха [°C] спрямо референтен период 1986–2005 според различните сценарии¹ (IPCC, 2013).

	2046-2065	2081-2100
Сценарий на емисии	Средно и <i>вероятен</i> интервал	Средно и <i>вероятен</i> интервал
RCP 2.6 – нисък	1.0 (0.4 до 1.6)	1.0 (0.3 до 1.7)
RCP 4.5 – умерен	1.4 (0.9 до 2.0)	1.8 (1.1 до 2.6)
RCP 8.5- висок	2.0 (1.4 до 2.6)	3.9 (2.6 до 4.8)

В това изследване ние анализираме единствено прогнозата за климатично изменение на годишната сума на оттока, без да се спираме на изменението във вътрешно-годишното разпределение. Със същото съчетание на модели, климатичните прогнози за оттока на р. Дунав при Братислава (Gaál et al., 2017), при различните RCP сценарии** (Таблица 1), показват по-съществени изменения в годишната сума на оттока спрямо измененията във вътрешно-годишното разпределение. Тази първа стъпка позволява от една страна, чрез сравнение на моделните данни от анализ на минал период, наречен референтен период, с наличните национални данни за годишната сума на оттока (Таблица 2), да се оцени практическата използваемост на информацията за прогнозираните климатични изменения в оттока. От друга страна, използването на годишната сума на оттока дава възможност да се оцени в каква степен резултатите при трите сценарии се отличават. Тук няма да се спираме на климатичните проекции на екстремални явления, като наводнения и засушавания, които са детайлно анализирани (Roudier et al., 2015) и показват увеличение по интензитет и продължителност на последните за Балканския полуостров.

2. МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

В това изследване са използвани данни от европейския Copernicus Climate Change Service (C3S) на основата на RCP сценарии 2.6, 4.5 и 8.5. В рамките на C3S е разработен проекта „Service for Water Indicators in Climate Change Adaptation” (SWICCA) (фигура 1), впоследствие интегриран в Climate Data Store (CDS),

** Набор от сценарии известен като „Представителни пътища на концентрациите” (Representative Concentration Pathways, RCPs) използван при изготвянето на Пети оценъчен доклад на IPCC (AR5, 2013/2014).

в който са дефинирани и се предлагат за ползване индикатори за климатичния натиск върху управлението на водите. Данните са предназначени за специалисти в тази сфера. Използвайки индикатори, оценката за въздействието на климатичните промени може да се направи, без да се налага пълно моделиране на климата. Вместо това, индикаторите могат да бъдат включени в работен процес с местни методи, за да се улесни вземането на решения и съставят стратегии за посрещане на бъдещето.

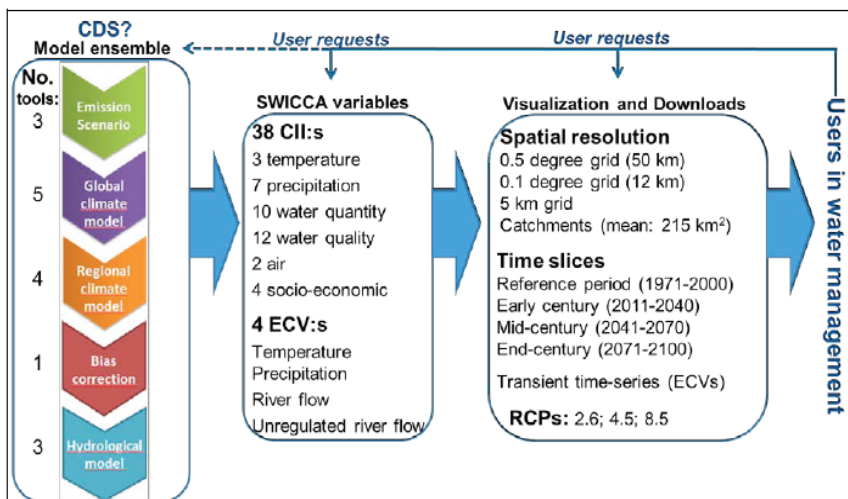


Fig. 1. Production tool-chain for about 900 data sets in SWICCA demonstrator (Nov. 2016).

Фиг. 1. Производствената верига за около 900 набора от данни в демонстратора на SWICCA (ноември 2016 г.)

Използваните от нас данни представляват извадка от множеството продукти и видове данни предоставяни от CDS (фигура 1), а именно многогодишни средномесечни стойности на сумата на повърхностния и подпочвения отток моделиран върху мрежа с резолюция 0.5° (50 km) покриващ територията на ЕС. Данните са изчислени за 4 периода: референтен период 1971-2000 г., прогнозни периоди - 2011-2040 г.; 2041-2070; 2071-2100 г. За всеки период са налични по 12 средномногогодишни, средномесечни стойности. За референтния период стойностите са дадени в единици [mm] воден стълб, а за прогнозните периоди като процентно изменение спрямо референтния период.

За нашето изследване ние избрахме две от 6-те възможни комбинации от глобален климатичен модел (ГКМ) + регионален климатичен модел (РКМ) + хидрологичен модел, за които има резултати от симулации освен за референтния период (Таблица 2) и с трите RCP 2.6, 4.5 и 8.5. В първата комбинация за вход на хидрологичния модел VIC-4.2.1.g (Liang et al., 1994) от Шведския Институт по Хидрология и Метеорология (SMHI) са използвани данни, получени на

базата на ГКМ ЕС-EARTH (Hartung et al., 2018), разработен със съдействието на Европейския Център за Средносрочни Прогнози (ECMWF) съчетан с РКМ RCA4 (Rossby Centre Regional Climate model) (Samuelsson et al., 2011). При втората комбинация данните на входа на модела VIC идват от ГКМ MPI-LSM-LR (Giorgetta et al., 2012) и РКМ – REMO (Climate Service Center - Germany). Изборът на тези комбинации, е направен от една страна заради необходимостта комбинацията да включва симулации и с трите RCP, и от друга страна, резултатите на тези две комбинации най-много се приближават до националните данни за референтния период предоставени от НИМХ (Таблица 2). Спецификите, калибрирането и ефективността на хидрологичните модели за климатични анализи са описани от Greuell et al., (2015).

За територията на България средномногогодишните средномесечни данни за всеки от четирите периода: референтен и 3 прогнозни, са преобразувани в годишни стойности със софтуерния пакет CDO (Schulzweida, 2019). С помощта на географските функции на софтуера за бази данни MariaDB (<https://mariadb.org>) са определени средните многогодишни стойности за всеки от четирите района на басейново управление в България: Дунавски, Черноморски, Източнобеломорски и Западнобеломорски.

В следствие на разликите между използваните моделни комбинации резултатите от симулациите на оттока за референтния период 1971-2000 г. се разсейват в значителна степен (Таблица 2). Двете комбинации с модела Е-Нуре дават с 27 до 61% по-нисък отток, спрямо изчисления от НИМХ, за всички басейни. Средно претеглено две моделни комбинации включващи хидроложкия модел VIC дават най-близки до изчислените от НИМХ данни за референтния период (Таблица 2). Това обуславя за прогнознния период да изберем VIC-CSC за Дунавски и Черноморски и VIC-SMHI за Беломорските басейни.

3. РЕЗУЛТАТИ

При сценарий RCP 2.6 се прогнозира относително увеличение на годишната сума на оттока за Беломорските райони (14 до 24%) и намаление за Дунавско-Черноморския район (-2.6 до -6.2%) до края на века (фигура 2 в ляво). При другите два сценария относително увеличение се отчита през първия период 2011-2040 г. По-отчетлива е тенденцията за относително намаление на оттока за периода 2041-2070 г., но при сценарий RCP 4.5 тя остава слаба - под -3%. За периода 2071-2100 г. резултатите с RCP 4.5 показват намаляване на оттока в Дунавския басейн, а за Черноморския и Западнобеломорския – слабо увеличение. При RCP 8.5 е усилена тенденцията за намаляване на оттока за Беломорския басейн (до -19.8%), а оттока при Дунавско-Черноморския район е редуциран с до -9%.

Table 2. Registered average yearly runoff [mm/m^2] by river basin district compared to results of SWICCA simulations for the referent period 1971-2000. The grayed cells in the table show the data and models used in our research.

Таблица 2. Сравнение на средномногогодишната сума на оттока [mm/m^2] по райони за басейново управление с референтните резултати от симулациите в SWICCA за 1971-2000 г. В таблицата са потъмнени използваните от нас данни и съответните модели.

Източник \ резултати модел\ на данни [mm/m^2]	Дунавски	Черно- морски	Източно- беломорски	Западно- беломорски
НИМХ 1971-2000	117	100	164	240
Е-Нуре-SMHI	86	45	107	179
Е-Нуре-CSC	74	39	93	170
VIC-CSC	112	100	120	95
VIC-SMHI	139	119	153	136
LisFlood-CSC	79	120	146	119
LisFlood-SMHI	99	144	185	160
НИМХ 2011-2018	151	131	202	233

4. ДИСКУСИЯ

В това изследване, изборът на най-подходящи моделни поредици от ГКМ, РКМ и хидрологичен модел е направен на базата на сравнението на резултатите от симулациите, налични в базата данни CDS за референтния период, спрямо данните на НИМХ. Последните са изчислени на основата на измерения отток в хидрометричните станции в мрежата на НИМХ, екстраполиран чрез статистическо-хидроложки подход (Нинов & Карагъзова, 2015) за да се отчетат ненаблюдаваните водни течения и безотточните райони (Добруджа). Приспаднат е притока от външни за територията на България басейни, основно в Западнбеломорски район. В националните данни неявно е включен разхода за напояване и прехвърлянето на води между басейните, които може да достигнат съответно до 7% и до 4% от оттока в реките (Artinyan et al., 2008). В този смисъл данните на НИМХ не съответстват на естествения отток за разлика от моделните данни от SWICCA. Прогнозираните резултати на относително изменение на годишната сума на оттока, за територията на четирите басейнови района за управление на водите в България, показват забележими но разнопосочни разлики. Най-съществено е относителното намаление на оттока за Беломорските райони по сценарий RCP 8.5 от 2041 до 2100 г. За същия период повтарящо се между сценарии RCP 2.6, 4.5 и 8.5, е относително малкото намаление на годишната сума на оттока за Дунавски район от -0.8% до -8.5%. Може да се спекулира, че относителното увеличение на оттока за някой басейни за периода 2011-2040 г. частично се потвърждава от данните на НИМХ за периода 2011 – 2018 г., средномногогодишния отток за който, за басейнови райони

без Западнобеломорски, е от 23 до 31% по висок от този в референтния период (виж последен ред на Таблица 2).

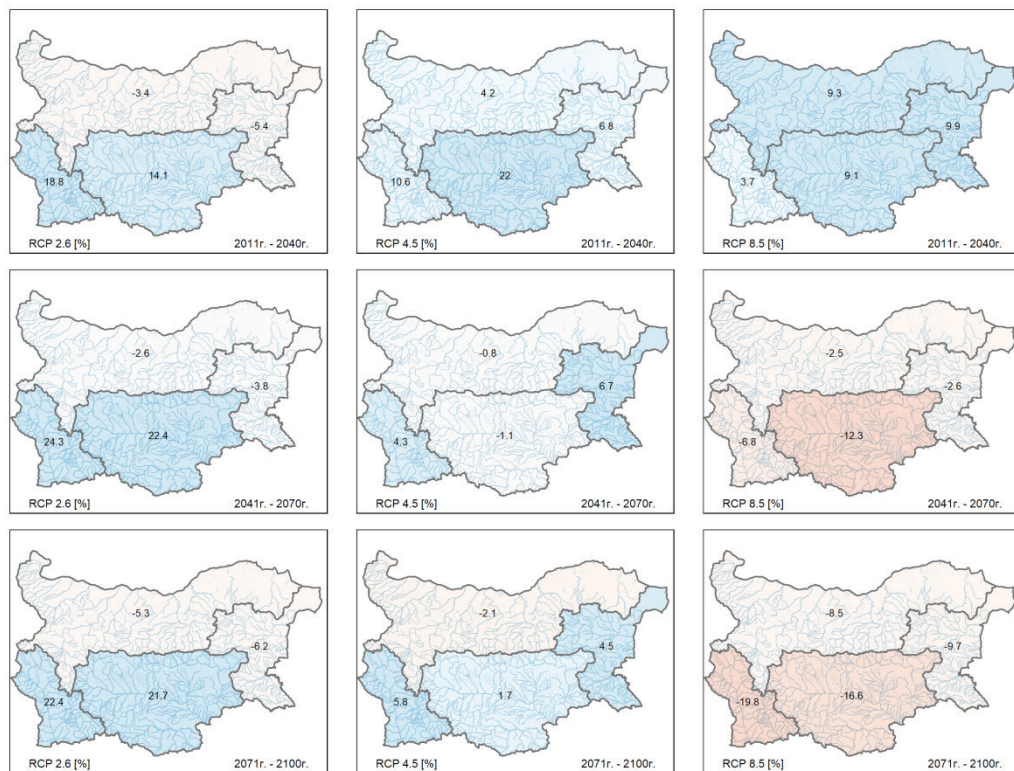


Fig. 2. Maps of relative change of the multiannual average runoff in the four main river basin districts, for the three 30 year periods 2011-2040, 2041-2070 and 2071-2100 in [%] compared to the reference 2071 – 2000. At the left – relative change for RCP 2.6; in the middle – for RCP 4.5 and to the right for RCP 8.5.

Фиг. 2. Карти на относителното изменение на средномногогодишната сума на оттока в четирите района на басейново управление, за трите 30 годишни периода 2011-2040, 2041-2070 и 2071-2100 в [%] спрямо референтния период 2071 – 2000 г. От ляво - относително изменение на оттока при сценарий RCP 2.6.; в средата, при сценарий RCP 4.5 и в дясно при сценарий RCP 8.5.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В изследването е направена частична оценка, с две комбинации от модели, на влиянието на очакваните климатични изменения през XXI век върху сумарния годишен речен отток в четирите района на басейново управление в България на основата на най-често използваните сценарии за увеличение на емисиите

от парникови газове RCP 2.6, 4.5 и 8.4. Изводите допълват публикуваните до момента изследвания относно ефекта на климатичните промени върху водните ресурси на България (Bojilova, 2017) (Mavrova-Gerguinova & Pechinova, 2019) (Попов и др., 2014), като се използват индикаторите на климатично въздействие и инструментариума достъпни чрез европейския проект Copernicus Climate Change Service (C3S), и по специално услугата Climate Data Store (CDS) (ECMWF, 2017).

ЛИТЕРАТУРА

- Нинов, П., Карагъзова, Ц. (2015) Актуализация на инструментариума за оценка на ресурсите от пресни води на територията на България. Техн. Отчет, НИМХ, София, 2015 г.
- Попов, А., Николова, М., Димитров, С. (2014) Анализ и оценка на риска и уязвимостта на секторите в българската икономика от климатичните промени, доклад по проект по приоритетна ос 4 „Техническа помощ“ на оперативна програма „Околна среда 2007-2013 г.“, Обща част [https://www.moew.government.bg/static/media/ups/articles/ attachments/ obshta_chast5ea57b35e2e39fef724cd5e98a2514dd.pdf](https://www.moew.government.bg/static/media/ups/articles/attachments/obshta_chast5ea57b35e2e39fef724cd5e98a2514dd.pdf) (25.03.2020 г.)
- Artinyan, E., Habets, F., Noilhan, J., Ledoux, E., Dimitrov, D., Martin, E., Le Moigne, P. (2008) Modelling the water budget and the riverflows of the Maritsa basin in Bulgaria. *Hydrology and Earth System Sciences*. 12. 10.5194/hessd-4-475-2007.
- Bojilova, Elena. (2017) River basin modeling under future climate conditions. Impact approach. Part I. Conference Paper in: XXVII Conference of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management. September 2017.
- Donnelly, C., Andersson, J.C.M., Arheimer, B. (2015) Using flow signatures and catchment similarities to evaluate the E-HYPE multi-basin model across Europe. *Hydrol. Sci. J.* doi:10.1080/02626667.2015.102771.
- ECMWF (2017) Climate service develops user-friendly data store, ECMWF Newsletter No. 151, 04/2017, p. 22, doi:10.21957/h9b197, <https://www.ecmwf.int/node/17181>.
- Flörke, Martina et al. (2011) Final Report for the Project Climate Adaptation - Modelling Water Scenarios and Sectoral Impacts. Center for Environmental Systems Research, Kassel. p. 120 Fig. 47, <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/192357> (30.09.2021).
- Gaál, L., Lešková, D., Kopáčíková, E. (2017) Changes in the 100-year flood at the Danube River in Bratislava due to the expected climate change. *Acta Hydrologica Slovaca*, 18(2), 154-164. 2644-4690.
- Giorgetta, M. A., Roeckner, E., Mauritsen, T., Stevens, B., Crueger, T., Esch, M., Rast, S., Kornblueh, L., Schmidt, H., Kinne, S., Möbis, B., Krismer, T., Reick, C., Raddatz, T., and Gayler, V. (2012) The atmospheric general circulation model ECHAM6 - Model description.
- Greuell, W., Andersson, J. C. M., Donnelly, C., Feyen, L., Gerten, D., Ludwig, F., Pisacane, G., Roudier, P., and Schaphoff, S. (2015) Evaluation of five hydrological models across Europe and their suitability for making projections under climate change, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 12, 10289–10330, <https://doi.org/10.5194/hessd-12-10289-2015>
- Hartung, K., Svensson, G., Struthers, H., Deppenmeier, A.-L., and Hazeleger, W. (2018): An EC-Earth coupled atmosphere–ocean single-column model (AOSCM.v1_EC-Earth3) for

- studying coupled marine and polar processes, *Geosci. Model Dev.*, 11, 4117–4137, 2018. <https://doi.org/10.5194/gmd-11-4117-2018>.
- IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley, eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf, Table SPM.2, p. 23.
- Liang, X., Lettenmaier, D.P., Wood, E.F., Burges, S.J. (1994) A Simple Hydrologically Based Model of Land Surface Water and Energy Fluxes for General Circulation Models. *J. Geophys. Res.* 1994, 99, 14415.
- Mavrova-Guirguinova, M., Pechinova, M. (2019) An assessment of the impact of climate change on the river flow in Bulgaria under conditions of limited information. Conf. paper in Hydrological hazards and related problems, 30-31 May 2019 UASG Sofia, Bulgaria, https://ba-seminar.eu/images/docs/03%20BAS_2019%20Mavrova-Guirguinova.pdf (25.03.2020)
- Patrick Samuelsson, Colin G. Jones, Ulrika Willen, Anders Ullerstig, Stefan Gollvik, Ulf Hannsson, Christer Jansson, Erik Kjellstrom, Grigory Nikulin and Klaus Wyser (2011) The Rossby Centre Regional Climate model RCA3: model description and performance, *Tellus* (2011), 63A, 4–23.
- Roudier, P., Andersson, J.C.M., Donnelly, C. et al. (2016) Projections of future floods and hydrological droughts in Europe under a +2°C global warming. *Climatic Change* 135, 341–355 (2016). <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1570-4>
- Schulzweida, Uwe. (2019, October 31). CDO User Guide (Version 1.9.8). <http://doi.org/10.5281/zenodo.3539275> (25.03.2020)