

Справка за оригиналност на научните приноси

В публикациите на гл.ас. д-р Асен Чорбаджиев,

за участие в конкурс за доцент в областта на висше образование

4. Природни науки, математика и информатика,

Професионално направление: 4.5 Математика

Научна специалност: „Теория на вероятностите и математическа статистика“

обнародван в „Държавен вестник“, бр. 8/26.01.2024 г.

Общият списък с научните ми трудове включва 23 (двадесет и три) заглавия в периода между 2015-2023 година, всичките публикувани след придобиване на образователната степен доктор през 2013г. и заемането на длъжност главен асистент в Института по Математика и Информатика, Българска Академия на Науките. От тях за участие в конкурса са избрани 18 (осемнадесет) научни работи, като 2 (две) от тях са самостоятелни и 16 (шестнадесет) са в съавторство.

Сумарно предоставените за конкурса трудове са оценени наукоментрично както следва:

Индексация	Брой публикации	Препратки в списъка от публикации предиставени за конкурса
В списания с импакт фактор	6	1,8,12,14,15,17
В списания без импакт фактор, но индексирани в Scopus с SJR	4	7,10,11,13
В сборници от доклади на конференции индексирани в Scopus с SJR	5	4,5,6,9,16
В трудове индексирани в Scopus без SJR	2	2, 18
В сборници с трудове от конференции, индексирани и реферирани в Zentralblatt и Mathscinet	1	3

Научната тема на предоставените за настоящия конкурс работи е естесвено продължение на изследванията ми в предишния етап на научно развитие. Темите, започнати по време на работата по дисертацията получиха пълноценно развитие, и чрез съвместната работа с нови съавтори и екипи. Изброените трудове могат да бъдат групирани в три основни направления:

1. Статистическо моделиране на космични лъчи и атмосферни, геоморфологични процеси, геостатистика.
2. Разклоняващи процеси
3. Резултати извън двете основни направления

Статистическо моделиране на космични лъчи и атмосферни, геоморфологични процеси, геостатистика.

Описанието и извеждането на заключения за природните процеси изисква дълъг период от измервания на множество интердисциплинарни параметри. Често тяхната връзка не е явна, а измерванията са съпроводени с експериментална грешка или има непълнота в данните. Затова множество измервателни кампании са с продължителност години, масивите от данни са огромни и се нуждаят от сериозна и постоянна обработка и оценка на качеството им. В такъв сложен и обемен експеримент беше дадено начало на моята научна работа. Често това включваше рутинна работа по изчистване и изследване на качеството на данни, която е лишена от възможност за публикационна работа в продължение на дълго време, поради липса на статистическа мощност в резултат на качеството на събраните данни. Аз съм работил като част от екип, фокусиран върху провеждането на реален експеримент за непрекъснато изследване на 38 параметри на атмосферата в периода 2009-2015г. Обзорна глава в книга описваща измерваните параметри, е включена в сборник от статии, предоставени за конкурса [1].

Една от тематиките на изследване на Мусала е изучаването на атмосферните аерозоли, свързани с процеса на пренос на замърсявания и образуване на облаци. Един от инсталираните уреди за тази цел е Нефелометър (3563 TSI Nephelometer), измеращ концентрацията на аерозоли. В периода 1 април – 30 юни 2013 с негова помощ бяха регистрирани множество събития на пренос на пясък от Сахар над връх Мусала, в Рила. За целта бяха използвани времеви редове от данни за коефициентите на абсорбция и разпръскване на дължина на вълната от 550nm и 750nm и Ангстром експонентата (scattering Angstrom exponent). Времевите редове от данни бяха изчистени от експериментална грешка, синхронизирани с figure of merit in time (FMT) и съпоставени със сателитни данни за праховия индекс (Dust Index) на NASA Aqua/AIRS. Преносът е потвърден от симулации за траекториите на въздушен транспорт, използвайки модела HYSPLIT. Сравнителният анализ е публикуван 2015 в [2].

Темата за трансграничния пренос на сахарски пясък е доразвита и за целта е създадена пригодена за системи с огромна изчислителна мощност софтуерна система за автоматизиране на проследяването. Тя се базира на автоматизирано обработване и комбиниране на сателитни данни за праховия индекс (Dust Index) на NASA Aqua/AIRS и траекториите на въздушен транспорт използвайки модела HYSPLIT. От комбинираните пространствено-времеви решетки от данни могат да се изчисляват Вариограми и вероятности за първоизточника на замърсяването или частиците пясък. Резултатът, базиран на реални преноси на Сахарски вятър над територията на Република Македония са докладвани на конференция в Охрид и публикувани в сборника от доклади [3].

Често източниците на замърсители са ясни и щетите от замърсяванията са дългосрочни. За оценка и минимизиране на щетите често се налагат допълнителни пълни изследвания. Такъв е случаят на замърсяване с Арсен на долината на река Огоста, случвало се в продължение на десетилетия. В края на 90-те години започва процесът на култивация и изследване на района. В резултат на няколко мащабни проекта са събрани данни за замърсяването с тежки метали по долината на Огоста около Чипровци. Но поради силната неравномерност на изследвания терен и огромната скала на вариране на концентрациите, класическите методи на многомерен анализ показват слабости. С цел редуциране на степените на свобода е извършено групиране на пробите според геоморфологеските особености на терена. За тази цел е използван K-means клъстер метод. Резултатите са верифицирани според експертна оценка. Впоследствие членове на екипа доразвиват идеята за клъстерна класификация като се използва компонентен анализ на терена относно кладенците за водни проби. Резултатът е публикуван в близко до темата за замърсяванията списание през 2019г в [4].

В процеса на изследване на замърсяване с арсен и тежки метали по долината на река Огоста в района на Чипровци, подходът за разбиване на наличните данни по клъстери е приложен и за измерванията от кладенци за подпочвени води. Приложената клъстеризация с компонентен анализ редуцира нехомогенността на данните и позволява извеждане на първични геохимически връзки за концентрацията на Арсен с геоморфоложки и геохимически параметри като ниво на подпочвените води, оксидация, електропроводимост и т.н. В резултата по подходящо групирани кладенци е намерена специфична за местоположението регресионна зависимост. За целта е използван Generalized Linear Models (GLM) регресии с гаусово и гамма разпределение на зависимата променлива. Резултатите са публикувани в тематично списание по темата през 2023 година в [5]. Работата е част от проект ТОПОМЕТ (КП-06-Н24/2), в който аз бях ръководител на работен пакет.

Нуждата от клъстеризация на данните се появява и в друг вид изчислителни задачи. При дълги времеви периоди на измерване на динамично променящи се процеси се получават структурни разлики в резултат на естествени промени в процеса или промяна в измервателния режим. Статистически метод за детектиране на подобни смени в режима е известен като Change Point Analysis. Основен принцип при него е използването на параметричен и непараметричен тест за оценка на достоверността на статистическата хипотеза за систематична промяна на математическо очакване и/или дисперсия или друга значима статистически оценка. Въз основа на използването на готов статистически пакет за Change Point Analysis е изготвен модел за автоматично засичане на Форбуш ефект. Това е физичен процес на рязка редукция в продължителност от няколко дни на интензитета на Галактическите космични лъчи в резултат на модулация с частици от слънчеви коронарни изригвания. Настоящият модел е тестван с данни от намиращия се на Мусала мюонен телескоп. Трудността за използване на стандартните параметри за Change Point анализа произтича от наличието

на дълъг лаг на автокорелацията във времевите редове от коригираните с атмосферното налягане мюони. За тази цел емпирично е изведена коригираща тежест (penalty), с която е калибриран моделът. Описанието на модела е докладвано на годишната сесия по индустриална математика през 2017 година и публикувано в сборника от избрани статии [6].

Приложението на изготвения модел за автоматично засичане на Форбуш събития с Change Point Analysis е демонстрирано с реални данни измерени на Мусала и реферирани от данни от сателит на НОАА. Изследването обхваща период от 4 години като са потвърдени и засечени повече от 10 слънчеви изригвания с различен гео-ефективен интензитет. Резултатът е докладван на Балканския конгрес на физиците, провел се през 2019 в София и е публикуван с кратък текст в сборника от доклади [7].

Разклоняващи се процеси

Тематиката по разклоняващи се процеси за пръв път влиза като тема в моята научна работа по време на изготвянето на дисертационен труд. Основна тема в дисертацията е моделирането на атмосферните каскади на космични лъчи навлизащи в атмосферата и обработката на измервателни данни от подобни процеси. Потокът от космични лъчи включва предимно протони (водородни ядра, 90%) и алфа частици (около 9%) с високи и свръхвисоки енергии (над 10^9 електрон волта). При тяхното навлизане в атмосферата и взаимодействието им с атмосферните молекули започва каскаден процес с раждането на множество вторични частици. Кратко обзорно описание на процеса в термините на разклоняващите се процеси и риск теорията съчетано с компютърни симулации беше представено на XVII международна конференция по вероятности и статистика, проведена между 25 юни и 1 юли 2016г. в гр. Поморие, Република България. В последствие е публикувано в сборника от трудове на конференцията [8].

Впоследствие тематиката получава подкрепа с включването в национален проект с тематика разклоняващи се процеси (FNI-KP-06-H22-3/2018) и участието на доцент д-р Пенка Майстнер в съвместната работа. Първата съвместна работа по тематиката е фокусирана по изследване на влиянието на началните условия върху развитието на разклоняващ се процес. В нея е разгледан основния случай за влиянието на начални условия следващи едно от добре известните случайни разпределения - геометрично (отместено и неотместено), отрицателно биномно и Пойа-Аепли (Pólya-Aerpli). Самите разпределения са специално подбрани. Базовата причина е връзката между тях – сумата от геометрично разпределени случайни величини се свързва със съставно Поасоново разпределение и субординатен (subordinate) Леви процес. От друга страна Пойа-Аепли разпределението може да се конструира чрез случайна времева промяна на отрицателно-биномен процес до Поасонов. По-значимата причина е въвеждането на безкрайно делим „пространствен“ радиус на потока от частици чрез параметризацията на Поасоновото разпределение. Конкретните резултати в статията са изчислени в явен

вид пораждащата функция на надкритичен марков процес с изброените разпределения [9].

Темата за началните условия е разширена с изследването на влиянието на началните условия върху развитието на критически линеен раждане-гибел процес. За начални условия отново са избрани отрицателно биномно, Поасоново и Пойя-Аепли разпределения. Намерени са вероятностите за израждане и пораждащите функции. Впоследствие, с получените резултати са сравнени статистически със специално създаден изчислителен експеримент за симулация след модифициране на вече наличния програмен код в [8]. Всичкото това позволява изчисляването на разпределения на процеси с по-сложни начални условия, демонстрирани в случая със схема на Пойя. Тези резултати са обобщени в една публикация [10]:

Излизането на споменатата вече статия ([10]) съвпада с настъпването на Ковид-19 пандемията. Изследваният модел се оказва лесно приложим в компютърно стохастично моделиране на времевите редове от данни за броя на заразените с вируса. За целта, моделът на линейно раждане и гибел с начални условия беше комбиниран с моделите за смяна на режима (change points analysis). Самите начални условия бяха оценени да обхващат началния момент на външна миграция със заразни по време на първите дни на пандемията. С всичките условности на непълнот на данните началното разпределение беше оценено да следва нехомогенен зависим от времето Поасонов процес. Началните условия продължават до момента когато вътрешното разпространение започва да доминира. От този момент дневната интензивност лесно може да се прогнозира с линеен раждане и гибел процес съчетан със статистическа оценка на смяна на режима. Основната работа е завършена през първите 2 месеца на пандемията и включва широк интердисциплинарен кръг от изследователи и студенти. Но самата публикация е забавена близо две години, време за което изчисленията бяха обновявани потвърждавайки началната концепция. Изчисленията са извършени на суперкомпютъра Авитохол, като ползването на изчислителни ресурси беше съфинансирано по „Национален център за високопроизводителни и разпределени пресмятания“, Договор ДО1-168/28.07.2022 за 2022 г.. Резултатите са публикувани в [11].

Работата по разклоняващи се процеси е продължена с изграждане на модели базирани на случаен механизъм на разклоняване. Първият такъв модел е за процес, породен от разклоняване базирано на вероятностно разпределение. Идеята идва от нуждата за изготвяне на генерализиран механизъм за изследване на перманентно повтарящи се каскади от частици, като законът за раждане на вторични частици да се определя от познат закон или вероятностно разпределение. За начална стъпка е избрано геометричното разпределение за подкритически и критически разклоняващи се процеси. Получените резултати включват решение на обратното уравнение на Колмогоров, което се описва със специални функции – Wright функция за подкритическия случай и Lambert-W за критическия. Допълнително са намерени условната гранична вероятност при подкритичен режим, вероятността за израждане и

функцията на плътност за критическия случай. Резултатите са публикувани в края на 2020 г в [12].

В статията за докритичния и критичен разклоняващ процес с геометрично разпределен механизъм е избегнат въпроса за поведението на вероятностната пораждаща функция $F(t, s)$ в околност на $s=1$ за критическия геометричен разклоняващ се процес. Неопределеността произтича от свойствата на намереното в предишната работа решение включващо Lambert-W функция. Подобен проблем прави намирането на моментите в критическия случай невъзможно. Тази липса беше решена посредством намирането на факториалните моменти. Резултатите са приети и публично достъпни през 2022 г [13].

Работата по разклоняващи се процеси с геометрично разпределен механизъм на размножаване е завършена с намиране на решението на обратното уравнение на Колмогоров в надкритическия случай. Резултатите включват намиране на вероятностното разпределение на броя на живите частици в даден момент. То е изчислено явно чрез производна на сложна функция и формулата на Faa Di Bruno. Също така решението на уравнението на Колмогоров е изразено чрез специалната функция на Райт (Wright). Представянето на тази функция в сходящ ред е получено след прилагане на метода на Лагранж метод на обръщането (Lagrange inversion method). Най важният резултат е радиусът на сходимост в зависимост от параметрите. Wright функция участва и в резултатите от трансформацията на Лаплас приложена за намиране на асимптотичното поведение на случайната величина, определяща нормирания брой живи частици. Наличието на специални функции в резултатите ги прави лесни и удобни за компютърни пресмятания, защото те се изразяват чрез сходящи редове. Това е демонстрирано с пресметнатите моменти и графики на вероятностите. Работата оставя отворен въпрос за изучаване на строго надкритическия (безсмъртен) процес като обобщение на процеса на Юл. Всичко е публикувано в [14].

Вече започнал разклоняващият процес може да следва природни закони, различни от стандартните вероятностни разпределения разгледани до този момент. Често, природните процеси следват логаритмични закони. Такъв частен случай е когато разклоняващият механизъм следва логаритмично разпределение на положителни цели числа. В докритическия случай, броят на измерени частици в случаен момент $t>0$ е определен от отместено разширено Сибуйа (shifted extended Sibuya) разпределение. Като част от резултатите е намерено решение в явен вид на обратното уравнение на Колмогоров, вероятността за оцеляване, функцията на плътност и факториалните моменти на броя на частици в произволен момент. Всичко това позволява намирането на условните факториални моменти и пресмятането на условната гранична вероятност чрез логаритмично разпределение (logarithmic series) ([15]).

В процеса на работа по проекта беше създаден нов изчислителен софтуер, частично включен в публикациите по темата. Цялостната цел е за паралелно и взаимно подкрепящо се развитие на аналитичните и компютърно-изчислителни методи. За

целта работата по разработването на изчислителна програмна библиотека, заедно с части от програмния код с отворен код, вкл. използваната версия за прогнозиране на Ковид-19, са докладвани на специализирана конференция по информатика и публикувани в сборника от доклади [16].

Резултати извън двете основни направления

В процеса на извеждане на резултатите за разклоняващ се процес с геометричен механизъм е използвана изчислителна техника, базирана на специални функции, която става и част от получените решения. Две такива функции са Гаусовата хипергеометрична функция (Gauss Hypergeometric function) и Бел полиноми (Bell Polynomials). Те се появяват в наша съвместна работа с доцент д-р Пенка Майстнер, предхождаща тези по разклоняващите процеси с геометричен механизъм. Тази работа е посветена на Леви процес на безкрайно делимо логаритмично разпределение $L(t)$. Като за така определената мярка е изведено, че може да се изчисли посредством полиноми на Бел, а пораждащата функция чрез логаритъм на Гаус хипергеометрична функция. Също така са изчислени преходните вероятности на процеса $L(t)$, отново включващи Бел полиноми. Впоследствие са дефинирани и сравнени два процеса със случайна замяна на времето – отрицателно биномна случайна величина с време заменено от Гамма процес и Логаритмичен Леви процес управляван от Поасонов процес. За тях са изчислени Бернщайн функциите, Леви мярката на субординиращия процес и преходните вероятности (виж [17]).

Често при навлизане на нов измервателен метод или апаратура в експерименталната работа възниква нуждата от специфичната обработка на данни от интер-калибровъчни експерименти. Такава нужда се появи при навлизането на дигитализацията в антропологията. В класическия си вариант обработката на антропологични образци разчита на процедура от ръчни измервания. Но с дигитализацията подобни измервания вече може да се правят с много по-прецизни измервателни методи. Такъв метод е 3-измерното лазерно сканиране. Но с оглед съвместимост, първичното навлизане се налага да бъде верифицирано спрямо масово разпространения конвенционален краниометричен метод. За тази цел е проведен интеркалибровъчен експеримент със сравнително измерване на човешки черепи по 13 ключови параметри. Измерванията са извършени с идентични повторения от двама професионални учени по стандартен директен начин и чрез лазерно сканиране. Резултатите са анализирани посредством Бланд-Алтман графики (Bland-Altman plots), отчитайки вътрешно-груповата дисперсия между участниците. Резултатите показват пълна съвместимост и заменяемост между двата метода ([18]).

Библиография:

1. Angelov, C., Nikolova, N., Arsov, T., Kalapov, I., Tchorbadjieff, A., Penev, I., & Angelov, I. (2016). BEO Moussala: complex for environmental studies. *Sustainable Development in Mountain Regions: Southeastern Europe*, 349-365.
2. Tchorbadjieff, A., Angelov, C., Arsov, T., Nikolova, N., Kalapov, I., & Boyadjieva, A. (2015). Sahara dust events over south-western Bulgaria during the late spring of 2013. *Comptes Rendus l'Académie Bulg. Sci*, 68, 1229.
3. Tchorbadjieff, A. (2018). An Automatic Tracking System for Natural Hazard Events with Satellite Remote Sensing. In *ICT Innovations 2016: Cognitive Functions and Next Generation ICT Systems* (pp. 240-249). Springer International Publishing.
4. Tchorbadjieff, A., Kotsev, T., Stoyanova, V., & Tcherkezova, E. (2019). K-means clustering of a soil sampling scheme with data on the morphography of the Ogosta Valley Northwestern Bulgaria. *European Journal of Geography*, 10(2).
5. Marcheova, Z., Kotsev, T., Tchorbadjieff, A., & Stoyanova, V. (2023). Modeling of arsenic dynamics in groundwater of a river floodplain contaminated with mine tailings: Ogosta River case, NW Bulgaria. *Journal of the Bulgarian Geographical Society*, 48, 3-14.
6. Tchorbadjieff, A., & Angelov, I. (2019). Change point analysis as a tool to detect abrupt cosmic ray muons variations. In *Advanced Computing in Industrial Mathematics: 12th Annual Meeting of the Bulgarian Section of SIAM December 20-22, 2017, Sofia, Bulgaria Revised Selected Papers* (pp. 395-406). Springer International Publishing.
7. Tchorbadjieff, A., & Angelov, I. (2019, February). Space weather study using change point analysis for in situ observations of cosmic rays muons. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2075, No. 1). AIP Publishing.
8. Tchorbadjieff, A. (2017). Using branching processes to simulate cosmic rays cascades. *Pliska Studia Mathematica Bulgarica*, 27(1), 103p-114p.
9. Mayster, P., & Tchorbadjieff, A. (2019). Supercritical Markov branching process with random initial condition. *Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci*, 72, 21-28.
10. Tchorbadjieff, A., & Mayster, P. (2020). Models induced from critical birth-death process with random initial conditions. *Journal of Applied Statistics*, 47(13-15), 2862-2878. DOI: [10.1080/02664763.2020.1732309](https://doi.org/10.1080/02664763.2020.1732309)
11. Tchorbadjieff, A., Tomov, L. P., Velez, V., Dezhov, G., Manev, V., & Mayster, P. (2023). On regime changes of COVID-19 outbreak. *Journal of Applied Statistics*, 50(11-12), 2343-2359. DOI: [10.1080/02664763.2023.2177625](https://doi.org/10.1080/02664763.2023.2177625)
12. Assen Tchorbadjieff, Penka Mayster, Geometric branching reproduction Markov processes, *Modern Stoch. Theory Appl.* 7, (2020), no. 4, 357-378, DOI: [10.15559/20-VMSTA163](https://doi.org/10.15559/20-VMSTA163)
13. Tchorbadjieff, A., & Mayster, P. (2022). Factorial moments of the critical Markov branching process with geometric reproduction of particles. *Modern Stochastics: Theory and Applications*, 9(2), 229-244. DOI: [10.15559/22-VMSTA201](https://doi.org/10.15559/22-VMSTA201)
14. Tchorbadjieff, A., & Mayster, P. (2023). Wright function in the solution to the Kolmogorov equation of the Markov branching process with geometric reproduction of particles. *Lithuanian Mathematical Journal*, 63(2), 223-240. DOI: [10.1007/s10986-023-09591-2](https://doi.org/10.1007/s10986-023-09591-2)
15. Mayster, P., & Tchorbadjieff, A. (2023, April). Extended Sibuya Distribution in Subcritical Markov Branching Processes. In *Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences* (Vol. 76, No. 4, pp. 517-524).
16. Tchorbadjieff, A., Tomov, L., & Mayster, P. (2023, June). Branching Process Simulator in R. In *International Conference on Computer Science and Education in Computer Science* (pp. 73-86). Cham: Springer Nature Switzerland.
17. Mayster, P., & Tchorbadjieff, A. (2019). Logarithmic Lévy process directed by Poisson subordinator. *Modern Stochastics: Theory and Applications*, 6(4), 419-441.

18. Toneva, D., Nikolova, S., Georgiev, I., & Tchorbadjieff, A. (2017). Accuracy of linear craniometric measurements obtained from laser scanning created 3D models of dry skulls. In *Advanced Computing in Industrial Mathematics: Revised Selected Papers of the 10th Annual Meeting of the Bulgarian Section of SIAM December 21-22, 2015, Sofia, Bulgaria* (pp. 215-229). Springer International Publishing.

22.03.2024 г.

/д-р Асен Чорбаджиев/

