



MONITORING OF CATASTROPHIC PROCESSES OF COSMIC AND TERRESTRIAL ORIGIN

Abstract: The report presents a current issue related to the assessment of effective monitoring of catastrophic processes of space and terrestrial origin. It has been shown that the effectiveness is evaluated using statistical methods, which allows to calculate the coefficients of efficiency in terms of prognosis. Links have been obtained that make it possible to calculate the coefficients of prevention of hazards (catastrophes) and costs associated with disaster forecasting, by organizing continuous integrated monitoring of physical fields and their parameters characterizing catastrophes of space and terrestrial origin. It is shown that the accident prevention factor depends only on the conditional probability of missing the danger.

Author information:

Alexey Stoev

PhD, Associate Professor
Director of the Branch of the Institute of Space Research and Technology, BAS in Stara Zagora
✉ stoev52@abv.bg
🌐 Bulgaria

Keywords:

catastrophic processes, cost factor, prevention factor, solar superstorm, falling space bodies, volcanic eruption, earthquake.

Ognian Ognyanov

PhD
Institute of Space Research and Technology
- BAS, Stara Zagora Branch
✉ ognianov@acceco.com
🌐 Bulgaria

Penka Stoeva

Professor, PhD
Institute of Space Research and Technology
- BAS, Stara Zagora Branch
✉ penm@abv.bg
🌐 Bulgaria

Въведение

Едно от основните противоречия във физическата география е единството на неразривно свързаните помежду си противоположни процеси – поглъщането и разпадането, асимилацията и дисимилацията на веществата. Редица изследователи твърдят, че даденото противоречие е и основната движеща сила за развитието на географската обвивка на земното кълбо и тъкмо тази сила е в основата на развитието на географската среда. Често пъти тези процеси имат много бързо, катастрофично развитие, при което извършващият се обмен на вещества и енергии в състава на географската обвивка води до кардинално нов път в еволюцията ѝ [1]. Тези катастрофични физически процеси увеличат със себе си почти всички физически обвивки на Земята от литосферата нагоре, като в по-късни еволюционни стадии това става и с биосферата.

Съществуват голям брой доказателства, че биосферата на Земята, включително човешката цивилизация са застрашени от планетарни катастрофи, чийто произход може да бъде както космически, така и свързан с природни бедствия [2]. Първите са слънчеви супербури, придружени от мощни слънчеви изригвания и изхвърляния на коронална маса; падане на

голями космически тела (с диаметър повече от 10 m); космически гама-избухвания; експлозии на свръхнови в близост до Слънчевата система и др. Наземните катастрофични бедствия включват вулканични изригвания, мощни земетресения, урагани, лавини, свлачища, цунами и много други природни процеси [3].

Повечето бедствия, с изключение на някои, които са техногенни по природа, е невъзможно да се предотвратят, но те могат да бъдат предвидени. Основната задача свързана с намаляването на негативните последици от катастрофи от космически и земен произход е организацията на непрекъснато комплексно наблюдение на множество параметри в системата „Слънце – междупланетната среда - магнитосфера - йоносфера - атмосфера - Земя (вътрешни обвивки) "и отделно "Земя (литосфера) - атмосфера – йоносфера – магнитосфера“. В това можем да включим мониторинг на сеизмични и вулканични процеси, атмосферни и космически параметри, активност на Слънцето, космически тела в опасна близост до Земята (комети, астероиди, голями метеорити) и други. С такъв мониторинг ще се получи огромно количество научна информация, която трябва да се обработва и съхранява, като се използва в интерес на минимизиране на щетите от възможни природни бедствия и катастрофи от различно естество.

Изпълнението на мониторингът включва следните етапи:

1. Осигуряване на непрекъснато събиране на данни за състоянието на физическите тела, полета и процеси, които могат да доведат до природни бедствия.
2. Наличие на суперкомпютри и софтуер за обработка на големи масиви (Big Data) от входящи данни в реално време.
3. Наличие на телеметрични системи за обмен на големи масиви от данни в локален и глобален мащаб.
4. Наличие на прогностични модели за синтезиране на прогнози в различни пространствени и времеви мащаби.

С други думи, смята се, че има достатъчно ясни предвестници на катастрофи с космически и земен произход, както и, че те могат да станат обект на идентификация. Това обаче изисква комплексен и непрекъснат мониторинг на физическите тела, полета и техните параметри. В работата ни ще бъде направена количествена оценка на ефективността на мониторинга, насочена към прогнозиране на катастрофични процеси, причинени от космически и земни източници.

Оценка на ефективността на мониторинга

Задачата за оценка на ефективността на мониторинга е насочена към прогнозиране на катастрофични процеси на Земята и има статистически характер. Тя трябва да се реши с привличането на методи от теорията на вероятностите и математическата статистика. Добър резултат е представен в работата на Черногор [4], в която са описани включително и няколко примера.

Нека приемем, че непрекъснато действащата система за мониторинг генерира сигнал за отсъствие или наличие на тревога. Качествените индикатори на системата за мониторинг при условие за априорно наличие на сигнал S е вероятността правилно да се открива опасност D и вероятността за пропускането на сигнала. При това, в този случай се формира пълноценна група от случайни събития, като размера на посочената вероятност е 1. Тъй като в общия случай априорна информация отсъства, за наличието или отсъствието на сигнал, при изследването на група от природни събития, се изследват следните ситуации:

- правилно откриване,
- правилно неоткриване,
- фалшива тревога,
- пропускане (неоткриване) на опасната ситуация.

Следователно, по време на мониторинга са възможни грешки от два вида: фалшива тревога с условна вероятност $\alpha = P_1^i S \bar{D}$, т.е. откриването на сигнал S при липса на опасност (\bar{D}) и пропуск на опасността с условна вероятност $\beta = P(\hat{S}/D)$, тоест неоткриване на сигнал, когато съществува реална опасност.

Ефективността на предупреждението за опасни катастрофични процеси може да се определи с помощта на следния коефициент:

$$k_D = P(D)/P(D\hat{S}) ,$$

където $P(D)$ е априорната вероятност за катастрофа, т.е. при липса на какъвто и да е мониторинг, $P(D\hat{S})$ – вероятността за неоткриване на природна катастрофа по време на работа на системите за мониторинг. Крайната стойност на тази вероятност показва, че моделът, който свързва измерените параметри с катастрофичния процес не е пълен. Т. е. използваните за прогнозираните "предвестници" на катастрофата не дават пълна гаранция за точно предсказване на природното бедствие.

От теоремата за вероятностно умножение, може да се напише изразът:

$$P(D\hat{S}) = P(D) P(\hat{S} / D) .$$

Тогава от предходните изрази получаваме следното уравнение:

$$k_D = 1/[P(\hat{S}D)] = 1/\beta .$$

От това уравнение следва, че с намаляване на β , ефективността на предупреждението за опасността от катастрофи се увеличава бързо. При това е важно k_D да не е зависи силно от априорната вероятност $p = P(D)$.

Като априорни приемаме следните разходи: разходи L от катастрофа в случай на нейното непредсказване; разходи I_m за дейности по минимизацията на последствията от бедствието при успешното ѝ прогнозиране; I_β - разходи за дейности в случай на фалшива тревога.

Нека въведем параметрите: $\gamma = I_m / L \ll 1$, $\theta = I_\beta / I_m < 1$.

В действителност реалните разходи ξ са случайна величина. Ще ги опишем с помощта на математическо очакване. Математическо очакване на разходите при липса на мониторинг се изразява така: $M[\xi_0] = Lp$,

а при наличие на разходи: $M[\xi] = L\beta p + 1(1-\beta)p + I_\beta\alpha(1-p)$.

Както се вижда от тези съотношение, при липса на мониторинг математическото очакване се определя само от априорните стойности на L и p .

При наличието на мониторинг математическото очакване се състои от три части:

Първата от тях е пропорционална на разходите L , априорната вероятност p за настъпване на катастрофа и вероятността от пропускане на идентификацията за опасност β ;

Втората – на разходите I_β , априорната вероятност p и вероятността за пропускането на опасност $(1-\beta)$;

Третата – на разходите I_β , вероятността за лъжлива тревога α и априорната вероятност за избягване на катастрофата изобщо.

От предходните уравнения получаваме израза за коефициента на ефективност на разходите; представляващ разходната норма, дължаща се на добра или лоша организация на мониторинга, обслужващия хардуер и софтуер и др., който има вида:

$$K=1/\{\beta+[(1-\beta)+\alpha\gamma(1-p)p-1]\theta\} .$$

По дефиниция, катастрофичните процеси са:

В Космоса

Падане на голями космически тела върху Земята (комети, астероиди, крупни метеорити)

Мощни и свръхмощни космически гама избухвания. Слънчеви супербури

Избухване на свръхнови звезди в близост до Слънчевата система

На Земята

Вулканични избухвания

Земетресения
Цунами
Свлачища
Лавини

Първи пример: Слънчева супербуря.

Супербуря на Слънцето може да бъде придружена от увеличение с няколко енергийни порядъка на слънчеви изригвания и коронални масови изхвърляния. При това, в същото време на Земята може да възникне геокосмическа супербуря. Обикновено енергията и мощността на короналните масови изхвърляния не надвишават стойности съответно 10^{25} J и 10^{22} W. Такива огнища се случват веднъж или два пъти по време на 11 годишния цикъл на слънчева активност. До катастрофични последици могат да доведат суперизлъчвания с енергия от около 10^{29} J и мощност от 10^{26} W. В такъв случай озоносферата се унищожава напълно, като тя може да се възстанови за около една година. Много видове флора и фауна няма да понесат драстично увеличения поток от ултравиолетово лъчение. Избухването може да послужи като тригерен механизъм за появата на пълно обледеняване по земната повърхност. Подобни избухвания не е имало през последните 7000 години.

Коронално масово изхвърляне с мощност 10^{26} джаула и 10^{23} вата може обаче да се случи, например, веднъж на всеки 300 години $\sim 10^{10}$ сек. Ако продължителността ѝ е приблизително равна на 10^3 s, то $p \sim 10^{-7}$. Ако предположим че, $\alpha = 10^{-5}$, $\beta = 10^{-6}$, $\gamma = 0,5$ и $\theta = 10^{-4}$, от последното уравнение получаваме, че мониторинга ще осигури изплащане $K \sim 200$. Ако обаче $\theta = 10^{-6}$, тогава $K \sim 2 \cdot 10^4$ и щетите и загубите ще бъдат големи и дългосрочни.

Обикновено кинетичната енергия на короналните изхвърляния на маса е $10^{24} \dots 10^{26}$ J, което съответства на мощността около $10^{20} \dots 10^{23}$ W. В екстремни случаи, тези параметри могат да достигнат 10^{27} J и 10^{23} - 10^{24} W съответно. Със същите значения, стойностите на p , α , β , γ и θ имат голям диапазон на $K \sim 200 - 20000$.

Втори пример: Земетресения.

В момента не е възможно да се предвиди с голяма точност моментът на земетресение с голям магнитуд. Ниската надеждност на прогноза, а от там и вероятността за фалшива тревога, е много висока и почти близка до единица. Изключително висока е вероятността за пропускане на опасността от предстоящо разрушително земетресение [5]. Нека предположим, че продължителността на сеизмичния процес заедно с вторичните трусове е: $\Delta t = 1$ ден = 10^5 s и $T = 30$ години = 10^9 s. Тогава, при $p = 10^{-4}$, $\alpha = 1$, $\beta = 0,5$, $\gamma = 0,5$ и $\theta = 10^{-4}$, получаваме $K \sim 1$. Както се вижда, печалбата която се придобива от тези условия е малка. За да се увеличи K , е необходимо да намалим α и β . Например при $\alpha = \beta = 10^{-3}$, като тогава имаме $K \sim 700$.

Мониторинга и прогнозирането на земетресенията, за които няма разработени достатъчно надеждни методи, за съжаление се отнася и до появата и прогноза на много други природни бедствия, като цунами, лавини, свлачища, вулкани и др. Поради големите стойности на α и β , печалбата при съответното прогнозиране е сравнително малка, около $K \sim 1$.

Ситуацията е много по-добра при мониторинга и прогнозирането за урагани, тропически циклони и тайфуни. В този случай, $p = 0,9$, $\alpha = 10^{-2}$, $\beta = 10^{-3}$. При $\gamma = 0,5$ и $\delta = 10^{-4}$, получаваме за $K = 10^3$. В този случай, печалбата при прогнозирането е $K = \beta^{-1}$, т.е. определя се основно от стойността на β . И това е свързано главно с добре развитата в световен мащаб наземна и космическа мрежа за мониторинг на катастрофични процеси в атмосферата на Земята, както наличие на развити методи за моделиране и прогноз на тези процеси.

Основни резултати

1. Описания метод позволява да бъдат получени съотношения, чрез които могат да се пресметнат коефициентите на ефективност при предотвратяване на опасни ситуации (природни катастрофи) и разходи, свързани с прогнозиране на бедствието, при детайлно организиране на непрекъснат интегрален мониторинг на катастрофи с космически и земен произход. Успоредно с процеса на мониторинг е необходимо да се подобри апаратурното обезпечаване по индикация на предвестия, хардуера и софтуера за обработка на Big Data и моделирането на катастрофичните процеси с космически и земен произход.

2. Показано е, че коефициентът на предупреждение на конкретната катастрофа зависи само от условната вероятност за пропускане на индикациите за предизвестяване на опасността. Коефициента на загуби като фактор зависи от пет параметъра: априорната вероятност за катастрофа, условната вероятност за фалшива тревога и вероятността за пропускане на опасността, относителните разходи, свързани с фалшива тревога и предотвратяване на последствията от катастрофата, ако е правилно предвидена и предупреждението е било навременно.

3. Показано е, че оценката на печалбата от използването на непрекъснат и мащабен мониторинг за редица катастрофи с космически и земен произход зависи от много фактори, предвид физическите характеристики на отделните физически явления които ги предшества и съпътстват. В много от случаите, печалбата от резултатите на успешен мониторинг може да бъде значителна. В други случаи, малките печалби са свързани с невъзможността днес да се постигат ниски стойности на вероятностите за фалшива тревога или стопроцентово пропускане на опасността.

Заклучение

В реалната космофизична действителност съществуват специфични и непрекъснати взаимодействия между Земята, нейните географски обвивки и телата, полетата и процесите в околоземното космическо пространство. Това изисква от земната цивилизация, да познава закономерностите на тези взаимодействия и баланса на силите които ги предизвикват. И тъй като, голяма част от катастрофичните процеси ставащи на Земята (особенно тези които имат общопланетарен мащаб) пряко или косвено зависят от тези взаимодействия, мониторинга върху тях става изключително важен и ценен в гносеологическо отношение. Пространствено-времевата взаимовръзка и диференциация на тези явления и процеси върху катастрофичните процеси в географските обвивки на Земята изискват създаване на съвременни научни прибори за мониторинг на средата (земна и космическа), суперкомпютри за обработка на Big Data и моделирането им. В този смисъл, е изключително важно прогнозите за тяхното предстоящо случване да имат голяма степен на достоверност, с цел да се избегнат големи загуби на материални и човешки ресурси при генериране на фалшиви сигнали за катастрофична опасност.

References:

1. Grigorev A., *Zakonomernosti stroeniya I razvitiya geograficheskoy sredy.*, M., p. 189, 1966
2. Chernogor F., Domnin F., *Fizika geokosmicheskikh bury.*, Monografy.- X., HNU V. N. Karazina, p. 408, 2014
3. Mardirosoyan G., Rangelov B., Bliznakov A., *Prirodni bedstviya: vaznikvane, posledica, zashtita.*, Akademichno izdanie na "Avit Konsult"., Sofia, p. 170, 2011
4. Chernogor F., *Effektivnost monitoringa katastroficheskikh processov kosmicheskogo I zemnogo proizhogdeniya.*, sp. *Kosmichna I atmosferna fizika*, т. 25, №1, pp. 38 - 47
5. Rangelov B., *Ocenka na posledicite ot prirodni bedstviya.*, sp. *Minno delo I geologiya.*, 2006, №2, pp. 29 - 32

