

Определение граничных условий безопасности работ на открытом воздухе с использованием модели биоклиматического показателя

Н. Н. Безуглова¹✉, К. Ю. Суковатов²

¹ Институт водных и экологических проблем СО РАН, Российская Федерация
(656038, Алтайский край, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1)

² Алтайский государственный университет, Российская Федерация
(656049, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 61)

Аннотация: Цель исследования – установить верхние и нижние пределы значений температуры воздуха и скорости ветра, при которых возможна работа на открытом воздухе без риска обморожений на локальных участках.

Материалы и методы. На основе ежедневных данных наблюдений по температуре воздуха и скорости ветра на метеорологических станциях Оссора (РП 616), Магадан, (РП 645, 646), Вилкойск (РП 985, 986) сформированы многолетние временные ряды указанных параметров за зимний сезон 2015-2019 годов. С использованием мультипликативной модели биоклиматического показателя жесткости погоды рассчитаны среднемесячные и среднесезонные значения биоклиматического показателя жесткости погоды D . В качестве критерия значения функции желательности выбрано значение $D_i \geq 0,37$. Выполнен статистический анализ рядов D , температуры воздуха, скорости ветра на территории отдельных РП для каждого месяца зимнего сезона.

Результаты и обсуждение. Установлено, что значениям обобщенного показателя жесткости погоды D_i могут существенно отличаться для различных РП в каждом месяце зимнего сезона. Определены граничные значения комбинаций температуры воздуха и скорости ветра, соответствующие условиям жесткости погоды «удовлетворительные и лучше» для территорий отдельных районов падения отделяющихся частей ракет космодрома Восточный, расположенных севернее 60° с.ш.

Выводы. При организации и планировании работ на открытом воздухе в холодное время года для оценки рисков обморожения можно использовать локальные значения обобщенного показателя жесткости погоды D_i , рассчитанные на основе мультипликативной модели биоклиматического показателя жесткости погоды.

Ключевые слова: модели обобщенного биоклиматического показателя, жесткость погоды, риски обморожения, районы падения отделяющихся частей ракет-носителей, космодром Восточный.

Для цитирования: Безуглова Н. Н., Суковатов К. Ю. Определение граничных условий безопасности работ на открытом воздухе с использованием модели биоклиматического показателя // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2022, № 3, с. 17-22. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2022/3/17-22>

ВВЕДЕНИЕ

После запуска космических аппаратов через определенное время отделяющиеся части ракет-носителей опускаются на землю. Необходимой и обязательной составляющей инфраструктуры космодрома являются районы падения (РП)

ступеней ракет-носителей. Расположение районов падения, их размеры для каждой ракеты-носителя определяются энергетическими параметрами космических аппаратов, требованиями к их орбитам.

В качестве РП выбирают малонаселенные территории, где хозяйственная деятельность сведена

© Безуглова Н. Н., Суковатов К. Ю., 2022

✉ Безуглова Надежда Николаевна, e-mail: bezuglovan@gmail.com



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

к минимуму. После очередного запуска на территории района падения прибывают группы специалистов с целью изучения участков падения отдельных частей, экологического мониторинга, ликвидации упавших фрагментов.

Многие РП космодрома Восточный находятся в местности, приравненной к районам Крайнего Севера, протяженность их составляет десятки километров (с севера на юг и с запада на восток), радиус разброса фрагментов может достигать десятков метров, работы по очистке территорий отдельных РП занимают не менее 10-14 дней [4]. Таким образом, обследование территорий РП в зимнее время года сопряжено с риском получения травм от холода: переохлаждения всего организма (гипотермия), обморожения отдельных частей тела (конечностей, участков лица, органов дыхания) [3, 5, 6].

Возникает необходимость оценивать риски обморожения для персонала, работающего на открытом воздухе на территориях РП космодрома Восточный.

Одним из способов решения подобных задач является расчет биоклиматического показателя жесткости погоды, с помощью которого можно оценить безопасность работы на открытом воздухе для персонала.

Цель данной работы – с использованием мультипликативной модели биоклиматического показателя жесткости погоды установить сочетания значений температуры воздуха и скорости ветра для территорий отдельных РП космодрома Восточный, обеспечивающие возможность работы на открытом воздухе без риска обморожений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Расчет биоклиматического показателя жесткости погоды выполнен с использованием мультипликативной модели биоклиматического показателя жесткости погоды, разработанной в ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»:

$$r = At^{\alpha} v^{\beta}, \quad (1)$$

где $r = I - D$ – риск обморожения личного состава при работе на открытом воздухе; A – коэффициент, учитывающий размерность единиц измерений предикторов; $t = (-1)T$ – температурный фактор холода; v – фактор ветрового режима; $\alpha = 0,642$, $\beta = 0,148$ – коэффициенты эластичности, показывающие процентное изменение одной переменной при изменении другой переменной на один процент. D – обобщенный показатель жесткости метеорологических условий [1-2, 4].

Для анализа связи обобщенного показателя жесткости погоды и метеорологических параметров выбраны РП 616, РП 645, 646, РП 985, 986. С использованием ежедневных данных наблюдений по температуре воздуха и скорости ветра на метеорологических станциях Оссора (РП 616), Магадан, (РП 645, 646), Вилуйск (РП 985, 986) сформированы многолетние временные ряды указанных параметров за зимний сезон 2015-2019 годов [7].

В соответствии с [6] рассчитаны значения температурного фактора холода, фактора ветрового режима. Исследования показали, что условие жесткости погоды «удовлетворительные и лучше» выполняется, когда значения функции желательности $Di \geq 0,37$. Это означает, что при наличии у персонала защитной многослойной одежды сохраняется на некотором уровне возможность работы на открытом воздухе без обморожений открытых участков тела [3, 5, 6].

Выполнен статистический анализ рядов D , температуры воздуха, скорости ветра на территории отдельных РП для каждого месяца зимнего сезона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Территории каждого из анализируемых РП отличаются сложным рельефом, неоднородными климатическими условиями, приравнены к районам Крайнего Севера. Подстилающая поверхность территорий РП 616, 645, 646 представлена чередованием суши и водной поверхности, продолжительность зимнего сезона около 200-240 дней, в отдельные дни температура понижается до $-30,0$; $-40,0$ °С.

РП 985, 986 расположены в континентальной части, на самом севере умеренного пояса Северного полушария, зима длится 220-250 дней в году.

В таблице 1 представлены средние значения метеорологических параметров и статистические оценки за зимний сезон, рассчитанные за период 2015-2019 годов.

Анализ средних величин показывает, что на территории РП 985, 986 не бывает дней, когда можно работать на открытом воздухе без риска обморожения, а на территории других РП ограничений практически нет.

Однако, изменчивость погодных условий в течение зимнего сезона очень велика, поэтому важное значение имеют оценки среднемесячных и ежедневных данных.

На рисунке 1 представлены гистограммы значений Di , для анализируемых территорий, рассчитанные на основании ежедневных данных

Среднесезонные значения метеорологических параметров и обобщенного показателя жесткости погодных условий D за период 2015-2019 годов

[Table 1. Seasonal average values of meteorological parameters and generalized indicator of weather severity D for the period 2015-2019]

Станция / Station	Параметры / Parameters	Среднее / Mean	Минимальное значение / Minimum value	Максимальное значение / Maximum value	Среднее квадратическое отклонение / Standard deviation
Виллюйск	V, м/с	1,5	0,0	4,0	0,5
	T, °C	-31,5	-47,3	-9,2	5,9
	D	0,22	0,19	0,60	0,13
Оссора	V, м/с	3,5	0,0	10,0	2,5
	T, °C	-12,9	-31,3	1,2	7,4
	D	0,52	0,07	0,96	0,18
Магадан	V, м/с	3,6	0,0	7,0	1,4
	T, °C	-14,8	-25,9	-0,7	4,4
	D	0,52	0,27	0,9	0,1

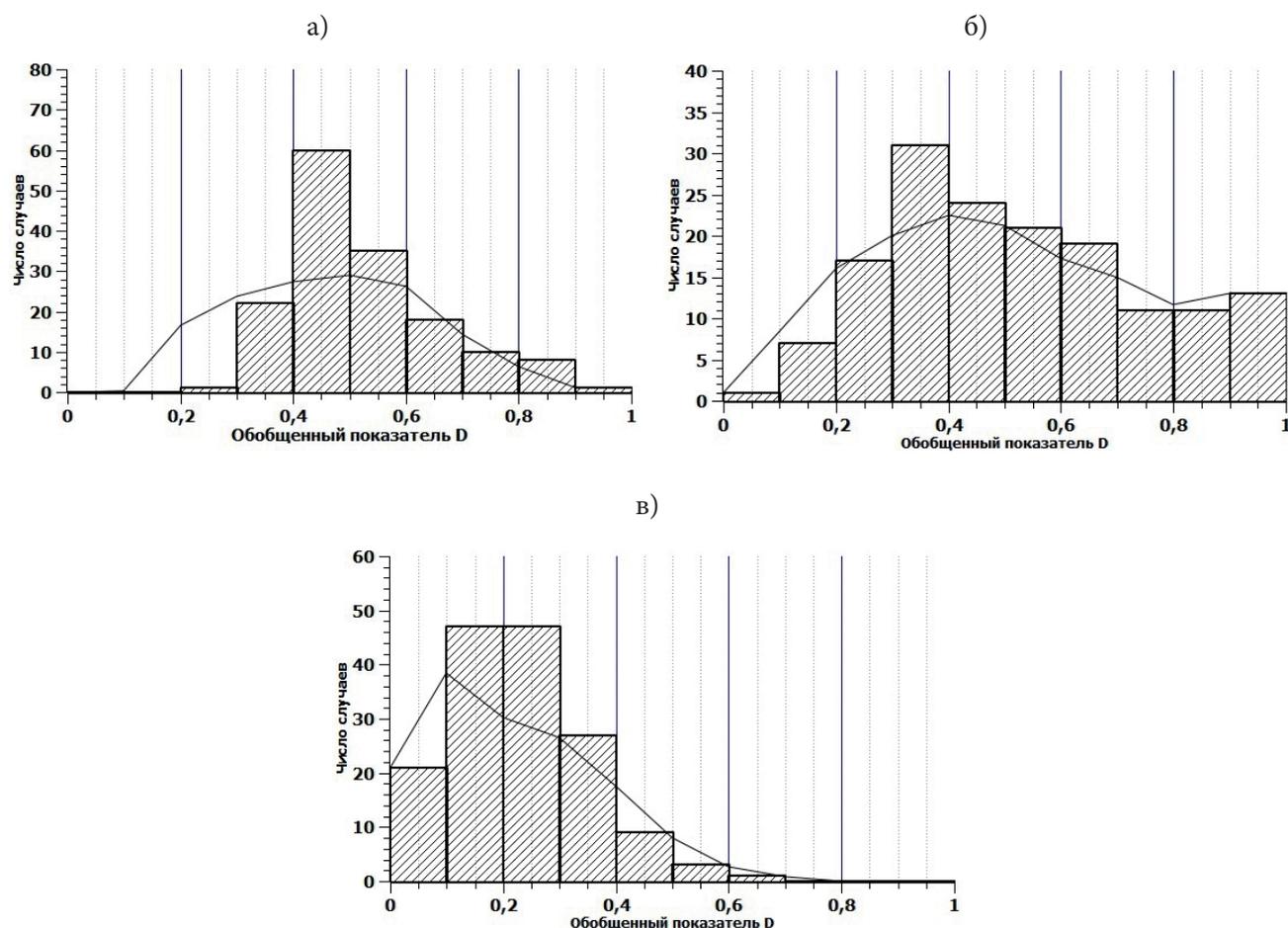


Рис. 1. Гистограммы среднего распределения значений показателя D для января, рассчитанные по ежедневным данным за 2015-2019 годы: а) РП 645, 646, б) РП 616, в) РП 985, 986
 [Fig. 1. Histograms of the average distribution of D values for January, calculated from daily data for 2015-2019: а) fall area 645, 646; б) fall area 616; в) fall area 985, 986]

Как видно из рисунка 1, в среднем наиболее суровые погодные условия наблюдаются на территории РП 985, 986. Наибольшая повторяемость сочетаний температуры воздуха и скорости ветра в январе ($D = 0,1-0,3$) не соответствуют условиям погоды «удовлетворительные и лучше». На территории РП 616 и РП 645, 646 преобладаю-

щие значения среднего многолетнего показателя D в январе составляют 0,3-0,5 и 0,4-0,5 соответственно.

В таблице 2 представлены результаты расчетов ежемесячных значений D , для анализируемых территорий РП и число дней на территории каждого РП со значениями $D_i \leq 0,37$.

Таблица 2

Среднемесячные величины показателя D и число дней (%) со значениями $D_i \leq 0,37$
 [Table 2. Monthly averages of D and number of days (%) with $D_i \leq 0,37$]

Станция / Station	Обобщенный показатель жесткости климата D / Generalized indicator of climate hardness D				
	Ноябрь / November	Декабрь / December	Январь / January	Февраль / February	Март / March
Магадан	0,59	0,47	0,48	0,48	0,61
Оссора	0,65	0,52	0,52	0,51	0,58
Виллойск	0,27	0,16	0,23	0,22	0,51
Число дней (%), со значением $D_i \leq 0,37$ / Number of days (%), with a value of $D_i \leq 0,37$					
Магадан	2,5	26,6	26,5	24,8	3,2
Оссора	7,5	25,0	39,3	35,5	13,5
Виллойск	79,5	95,5	90,0	86,0	35,0

Среднемесячные величины обобщенного показателя жесткости погоды показали, что на территории РП 616, 645, 646 возможна работа на открытом воздухе без ограничений, однако анализ ежедневных данных указывает, что в каждом из зимних месяцев (декабрь, январь, февраль) наблюдается не менее 25-39 % дней, когда работа на открытом воздухе без риска обморожения невозможна. В ноябре и марте эта величина составляет примерно 2,5-13 %.

Для территории РП 985, 986 с ноября по февраль число дней со значениями $D_i \leq 0,37$, т.е. когда нет

возможности обеспечить работу на открытом воздухе без риска обморожения, составляют 79-90%, в марте этот показатель составляет 35%.

Анализ метеорологических параметров, соответствующих значениям обобщенного показателя жесткости погоды $D_i \leq 0,37$, позволил определить верхние и нижние пределы значений температуры воздуха и скорости ветра, при которых возможна работа на открытом воздухе без риска обморожений. Результаты для каждого месяца зимнего сезона представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты расчетов граничных значений температуры воздуха и скорости ветра для каждого месяца зимнего сезона
 [Table 3. The results of calculations of the boundary values of air temperature and wind speed for each month of the winter season]

РП / Fall areas	Ноябрь / November		Декабрь / December		Январь / January		Февраль / February		Март / March	
	Т°С	V(м/с)	Т°С	V(м/с)	Т°С	V(м/с)	Т°С	V(м/с)	Т°С	V(м/с)
РП616	-15,8	7,0	-16,8	7,0	-17,0	6,0	-16,1	7,0	-16,9	6,0
	-20,6	5,0	-26,6	3,0	-26,9	2,0	-21,6	7,0	-22,8	5,0
РП645	-17,7	4,0	-17,4	5,0	-19,5	3,0	-17,5	5,0	-17,6	5,0
РП646	-19,9	3,0	-23,6	3,0	-27,2	1,3	-24,1	2,3	-20,7	3,0
РП985	-19,1	4,0	-21,8	2,0	-18,2	4,0	-25,1	1,0	-20,8	3,0
РП986	-25,7	2,0	-26,3	1,0	-22,6	2,8	-26,3	1,0	-24,9	2,0

По условиям расчета величины обобщенного показателя жесткости погоды D при усилении температурного или ветрового фактора на 1 % от со-

ответствующих средних значений риск обморожения увеличивается меньше, чем на один процент. Любые сочетания значений температуры воздуха

и скорости ветра, не превышающие рассчитанных граничных условий, соответствуют условию $Di \geq 0,37$, когда сохраняется возможность работы на открытом воздухе без риска обморожений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При организации и планировании работ на открытом воздухе в холодное время года в районах падения ступеней ракет для оценки рисков обморожения можно использовать мультипликативную модель биоклиматического показателя жесткости погоды для установления значений температуры воздуха и скорости ветра, соответствующих условиям жесткости погоды «удовлетворительные и лучше».

Использование ежедневных метеорологических данных при расчете обобщенного показателя позволяет установить предельные значения температуры воздуха и скорости ветра для анализируемых территорий, при которых возможна работа на открытом воздухе в зимнее время без риска обморожения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. *Прикладная статистика. Основы эконометрики: в 2 т. Т.1: Теория вероятностей и прикладная статистика*. Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. 656 с.

2. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. *Прикладная статистика. Основы эконометрики: в 2 т. Т.2: Основы эконометрики*. Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. 432 с.

3. МР 2.2.7.2129-06. *Методические рекомендации. Физиология труда и эргономика: Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой территории или в неотапливаемых помещениях*. 12 с.

4. *Роскосмос*. – URL: <http://www.roscosmos.ru/> (дата обращения: 26.11.2021). – Текст: электронный.

5. *Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики / под ред. Н. В. Кобышевой*. Санкт-Петербург: Главная геофизическая обсерватория, 2008. 334 с.

6. Шипко Ю. В., Шувакин Е. В., Иванов А. В. Обобщенный биоклиматический показатель безопасности работ на открытом воздухе в суровых погодных условиях // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2015, № 3, с. 33-39.

7. *World Meteorological Organization Climate Explorer*. – URL: climexp.knmi.nl/start.cgi (accessed 12.11.2021). – Text: electronic.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 13.01.2022

Принята к публикации 05.09.2022

GEOGRAPHY

UDC 551.582+551.586

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2022/3/17-22>

Finding of the Boundary Conditions for the Safety of Outdoor Work Using the Bioclimatic Indicator Model

N. N. Bezuglova¹✉, K. Yu. Sukovatov²

¹*Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Russian Federation (1, Molodezhnaya st., Barnaul, 656038)*

²*Altay State University, Russian Federation (61, Lenin ave., Barnaul, 656049)*

Abstract: The purpose of the study is to establish the upper and lower limits of air temperature and wind speed in local areas, that will allow to work outdoors without the risk of frostbite.

Materials and methods. Based on daily observational data on air temperature and wind speed at meteorological stations Ossora (fall area 616), Magadan (fall area 645, 646), Vilyuisk (fall area 985, 986), long-term time series of these parameters for the winter season of 2015-2019 were formed. Using a multiplicative model

© Bezuglova N.N., Sukovatov K. Yu., 2022

✉ Nadezhda N. Bezuglova, e-mail: bezuglovan@gmail.com



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

of the bioclimatic index of weather severity, the average monthly and average seasonal values of the bioclimatic index of weather severity D were calculated. $D_i \geq 0.37$ was chosen as a criterion for the value of the desirability function. Statistical analysis of time series D , air temperature, wind speed on the territory of local fall areas for each month of the winter season was performed.

Results. It has been established that the values of the generalized weather severity index D_i can differ significantly for different fall areas in each month of the winter season. Boundary values of combinations of air temperature and wind speed are determined, corresponding to the conditions of weather severity "satisfactory and better" for the territories of local fall areas of the missile stages located north of 60 °N for Vostochny cosmodrome rockets.

Conclusions. To assess the risk of frostbite, when organizing and planning outdoor work in the cold season, the local values of the generalized weather severity index D_i , calculated on the base of a multiplicative model of the bioclimatic weather severity index can be used.

Key words: generalized bioclimatic indicator models, weather severity, frostbite risks, fall areas of separating parts of launch vehicles, Vostochny cosmodrome.

For citation: Bezuglova N. N., Sukovatov K. Yu. Finding of the Boundary Conditions for the Safety of Outdoor Work Using the Bioclimatic Indicator Model. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2022, no. 3, pp. 17-22 (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2022/3/17-22>

REFERENCES

1. Ayvazyan S. A., Mkhitarian V. S. *Prikladnaya statistika. Osnovy ekonometriki: v 2 t. T.1: Teoriya veroyatnostey i prikladnaya statistika* [Applied statistics. Fundamentals of econometrics: in 2 volumes. Vol. 1: Probability theory and applied statistics]. Moscow: UNITI-DANA, 2001. 656 p. (In Russ.)

2. Ayvazyan S. A., Mkhitarian V. S. *Prikladnaya statistika. Osnovy ekonometriki: v 2 t. T.2: Osnovy ekonometriki* [Applied statistics. Fundamentals of econometrics: in 2 volumes. V.2: Fundamentals of econometrics]. Moscow: UNITI-DANA, 2001. 432 p. (In Russ.)

3. *MR 2.2.7.2129-06. Metodicheskie rekomendatsii. Fiziologiya truda i ergonomika: Rezhimy truda i otdykha rabotayushchikh v kholodnoe vremya na otkrytoy territorii ili v neotaplivaemykh pomeshcheniyakh* [MP 2.2.7.2129-06. Guidelines. Physiology of labor and ergonomics: Modes of work and rest of workers in cold weather in an open area or in unheated premises]. 12 p. (In Russ.)

4. *Roscosmos*. – URL: <http://www.roscosmos.ru/> (accessed 11.26.2021). – Text: electronic. (In Russ.)

5. *Rukovodstvo po spetsializirovannomu klimatologicheskomu obsluzhivaniyu ekonomiki* [Guidelines for specialized climatological services for the economy] / pod red. N. V. Kobysheva. Saint-Petersburg: Glavnaya geofizicheskaya observatoriya, 2008. 334 p. (In Russ.)

6. Shipko Yu. V., Shuvakin E. V., Ivanov A. V. Obobshchenny bioklimaticheskiy pokazatel' bezopasnosti rabot na otkrytom vozdukh v surovyykh pogodnykh usloviyakh [A generalized bioclimatic indicator of the safety of outdoor work in severe weather conditions]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2015, no. 3, p. 33-39. (In Russ.)

7. *World Meteorological Organization Climate Explorer*. – URL: climexp.knmi.nl/start.cgi (accessed 12.11.2021). – Text: electronic.

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 13.01.2022

Accepted: 05.09.2022

Безуглова Надежда Николаевна
кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории физики атмосферно-гидросферных процессов Института водных и экологических проблем, г. Барнаул, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-1985-9352, e-mail: bezuglovan@gmail.com

Суковатов Константин Юрьевич
кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории физики атмосферно-гидросферных процессов Института водных и экологических проблем, г. Барнаул, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-3763-6291, e-mail: skonstantiny@gmail.com

Nadezhda N. Bezuglova
Cand. Sci. (Physic. and Math.), Senior Researcher at the Laboratory of Physics of Atmospheric-Hydrospheric Processes of the Institute of Water and Environmental Problems, Barnaul, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-1985-9352, e-mail: bezuglovan@gmail.com

Konstantin Yu. Sukovatov
Cand. Sci. (Physic. and Math.), Researcher at the Laboratory of Physics of Atmospheric-Hydrospheric Processes of the Institute of Water and Environmental Problems, Barnaul, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-3763-6291, e-mail: skonstantiny@gmail.com