

Раздел 3

ГИДРОЛОГИЯ. КЛИМАТ

Section 3

HYDROLOGY. CLIMATE

УДК 551.582; 551.583

**ЗАВИСИМОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ
ОСАЖДАЕМОЙ ВЛАГИ ОТ КВАЗИДЕКАДНОГО
ТИХООКЕАНСКОГО ЦИРКУЛЯЦИОННОГО ФАКТОРА PDO
(ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ)**

Н.Н. Безуглова, К.Ю. Суковатов

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, Россия, Барнаул**E-mail: bezuglovan@gmail.com; skonstantiny@gmail.com*

В работе выполнен анализ связи общей осаждаемой влаги в тропосфере с циркуляционными условиями, определяемыми телеконнекционным индексом PDO, для равнинной территории Алтайского края для холодного и теплого сезонов. На основе анализа тенденций межгодовых изменений, пространственного распределения, периодических колебаний временных рядов указанных параметров установлено, что на исследуемой территории существует статистическая квазидесятилетняя связь между указанными параметрами. Взаимосвязь пространственного распределения осаждаемой влаги в атмосфере с преобладающими юго-западными потоками воздуха наиболее существенно проявляется в теплом сезоне. Анализ вейвлет-спектров показал, что с большой долей уверенности можно предполагать, что для исследуемой территории в теплом сезоне существуют устойчивая связь между циркуляционной формой индекса PDO и осаждаемой влагой в масштабе 11-летних периодов колебаний.

Ключевые слова: осаждаемая влага; атмосферная циркуляция; телеконнекционный индекс PDO; пространственное распределение осаждаемой влаги; периодические колебания временных рядов.

DOI: 10.24412/2410-1192-2023-17203

Дата поступления: 15.01.2024. Принята к печати: 6.02.2024

Содержание влаги в тропосфере является одним из основных факторов, определяющих количество осадков, выпадающих в каком-либо регионе. Когда интегральное по вертикали количество влаги (осаждаемая влага) в тропосфере конкретного региона превышает климатологическое значение в два раза, существенно возрастает вероятность экстремальных осадков или наводне-

ний [Wang et al., 2017]. Пространственная изменчивость осаждаемой влаги на разных временных масштабах является одним из ключевых параметров, определяющих погодные условия и региональные климатические изменения [Marcus et al., 2007; Yang, Smith, 2018]. Пространственно-временная изменчивость атмосферной влаги обусловлена глобальными и региональными

циркуляционными характеристиками.

В настоящей работе представлен анализ связи общей осаждаемой влаги в тропосфере для равнинной территории Алтайского края с циркуляционными условиями, определяемыми индексом PDO (Pacific Decadal Oscillation index), для теплого и холодного сезонов.

Телеконнекционный индекс PDO характеризует квазидесятилетний режим взаимодействия системы океан-атмосфера в северной части Тихого океана, который влияет на региональные климатические изменения во внетропической территории Евразии.

В работе анализировали тенденции межгодовых изменений и периодические составляющие временных рядов исследуемых параметров.

Методы и материалы

Для анализа использовали данные из открытых источников – временные ряды общей осаждаемой влаги, компонент скорости ветра (данные реанализа MERRA-2, NCEP-NCAR) [Реанализ NCEP-NCAR...] и индекса PDO [NOAA's Climate...] за 1980–2021 годы. Теплый сезон апрель – октябрь, холодный – ноябрь-март.

Для визуализации направлений средних многолетних воздушных потоков и их сопоставления с пространственным распределением осаждаемой влаги для холодного и теплого сезонов на исследуемой территории по компонентам скорости ветра были рассчитаны значения функции тока, определяемые как производные по координатам от компонент скорости ветра в атмосфере [Монин, 1982]. Для

расчетов и построения пространственного распределения анализируемых параметров авторами разработаны программные сценарии на языке программирования Python, в которых используется библиотека Basemap [Библиотека Basemap...].

Для оценки статистической связи между квазипериодическими процессами использовался метод анализа вейвлет-когерентности, который позволяет рассчитать периоды совместных колебаний и разность фаз между ними, а также локализовать временной интервал, на котором наблюдаются когерентные колебания. Для расчета спектров вейвлет-когерентности использовалось программное обеспечение, которое разработано в центре климатических исследований, реализовано на языке R в виде библиотеки biwavelet и находится в открытом доступе [Gouhier et al, 2021].

Результаты расчетов представлены в виде графиков, на которых области когерентности отмечены сплошными черными линиями, разности фаз анализируемых параметров определяются направлением стрелок. По вертикальной оси отложены периоды колебаний, по горизонтальной оси – годы, значениям коэффициента когерентности соответствует цветовая панель.

Белой линией обозначены границы конуса доверия, за пределами которого возможны ограничения на определение периодов колебаний большой длительности из-за недостаточной длины исходного ряда.

Результаты и обсуждение

На рисунках 1, 2 представлены тенденции межгодовых изменений осаждаемой влаги и индекса PDO для теплого и холодного сезонов.

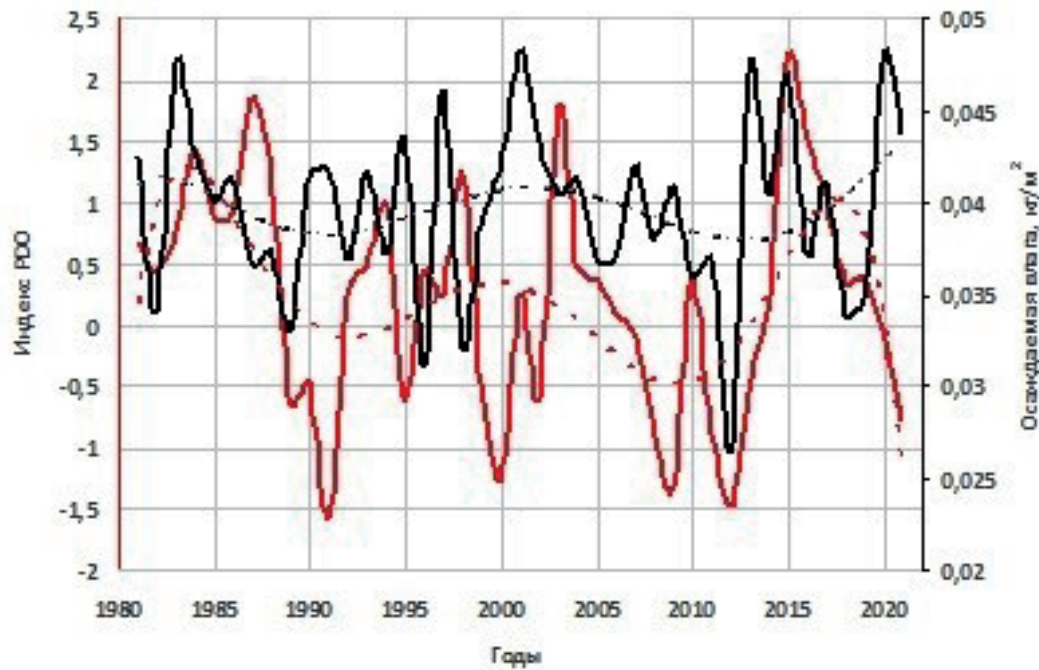


Рис. 1. Межгодовые изменения и сглаженные кривые рядов осаждаемой влаги (сплошная) и индекса PDO (прерывистая, безразмерная величина) для холодного сезона

Fig. 1. Interannual changes and smoothed curves of precipitable water (solid) and PDO index (intermittent, dimensionless quantity) time sets for the cold season

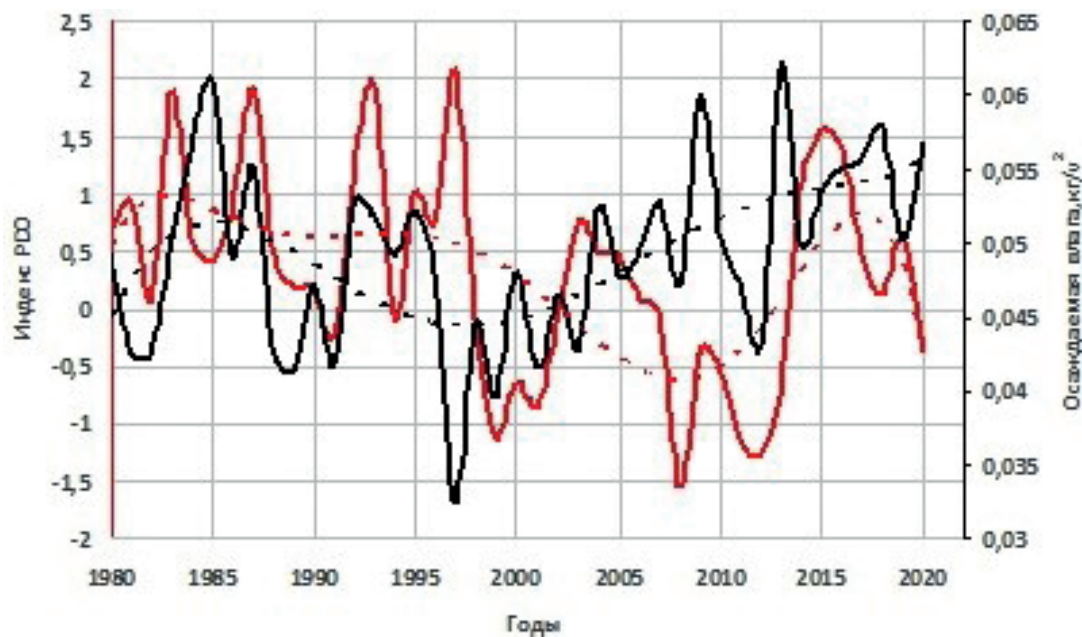


Рис. 2. Межгодовые изменения и сглаженные кривые рядов осаждаемой влаги (сплошная) и индекса PDO (прерывистая, безразмерная величина) для теплого сезона

Fig. 2. Interannual changes and smoothed curves of precipitable water (solid) and PDO index (intermittent, dimensionless quantity) time sets for the warm season

Анализ исходных данных и сглаженных кривых показал, что межгодовые изменения осаждаемой влаги и индекса PDO в теплом сезоне в течение анализируемого периода происходили скорее в противофазе, т.е. ослаблению (усилению) индекса PDO соответствовало увеличение (уменьшение) влаги в атмосфере.

В холодном сезоне наблюдались синхронные изменения практически в течение всего анализируемого временного интервала.

На рисунках 3, 4 представлено пространственное распределение осаждаемой влаги и линий тока для исследуемой территории.

Для обоих сезонов локально преобладают потоки юго-западного

направления. Распределение осаждаемой влаги в холодный сезон широтное (рис. 3). Взаимосвязь пространственного распределения влаги с адвективным (горизонтальным) переносом не проявляется.

В теплом сезоне взаимосвязь пространственного распределения осаждаемой влаги в атмосфере с юго-западным переносом проявляется сильнее (рис. 4).

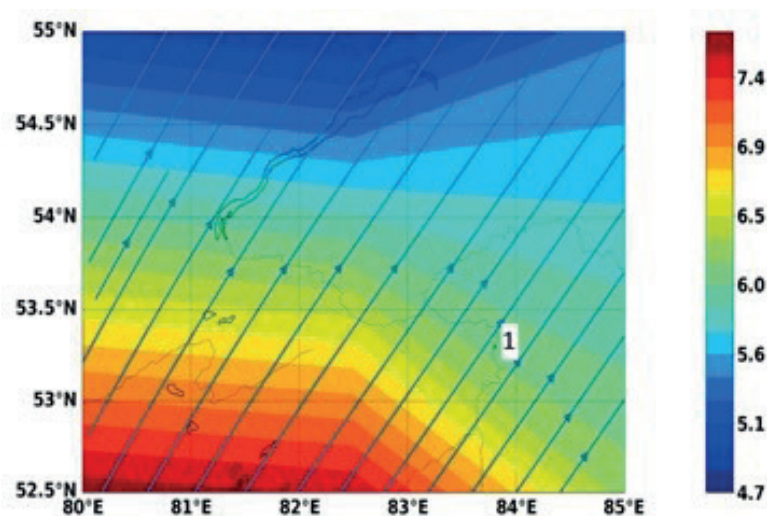


Рис. 3. Пространственное распределение осаждаемой влаги (kg/m^2) и линии тока для холодного сезона за период 1980–2021 гг. 1 – г. Барнаул

Fig. 3. The spatial distribution of precipitable water (kg/m^2) and streamlines for the cold season for the period 1980–2021. 1 – Barnaul

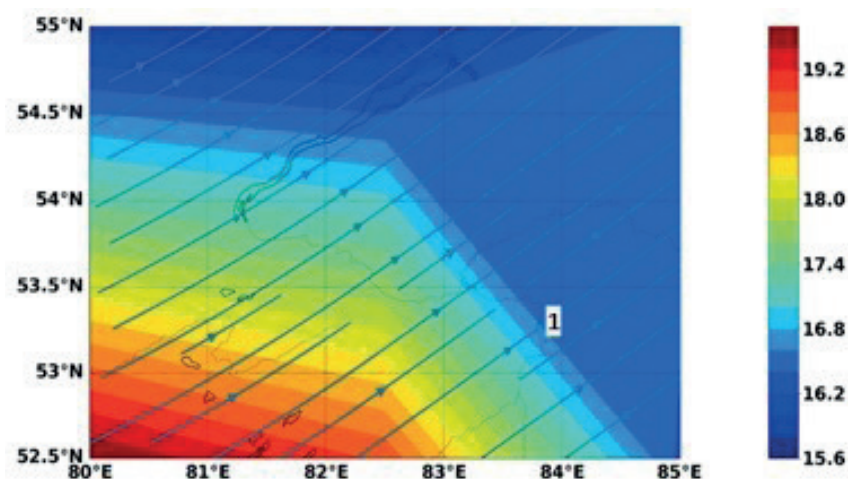


Рис. 4. Пространственное распределение осаждаемой влаги (kg/m^2) и линии тока для теплого сезона за 1980–2021 гг. 1 – г. Барнаул

Fig. 4. The spatial distribution of precipitable water (kg/m^2) and streamlines for the warm season for the period 1980–2021. 1 – Barnaul

Широтное распределение влаги для теплого сезона нарушается юго-западными потоками и становится меридиональным в направлении преобладающих воздушных потоков.

На рисунках 5, 6 представлены спектры вейвлет-когерентности осаждаемой влаги и индекса PDO для холодного и теплого сезонов.

На спектре холодного сезона (рис. 5) существуют (рис. 5) две статистически значимые области совместных колебаний

с периодами около 8 лет (на временном интервале 1980–1990 гг.) и около 4 лет (2004–2020 гг.). Однако период колебаний первой области сопоставим с временным интервалом ее проявления, большая часть второй области вне конуса доверия, поэтому рассмотрение этих областей нецелесообразно.

На спектре теплого сезона (рис. 6) установлена одна область совместных колебаний анализируемых параметров с периодом около 11 лет.

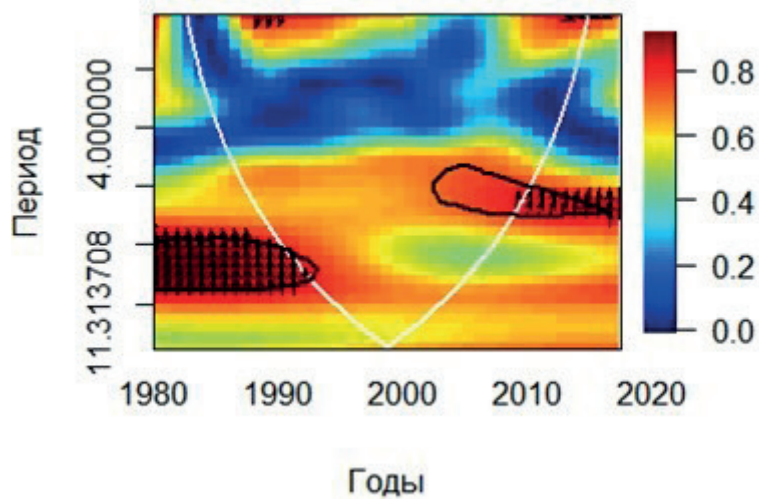


Рис. 5. Спектр вейвлет-когерентности осаждаемой атмосферной влаги и индекса PDO для холодного сезона
Fig. 5. Wavelet coherence spectrum of the atmospheric precipitable water and PDO index for the cold season

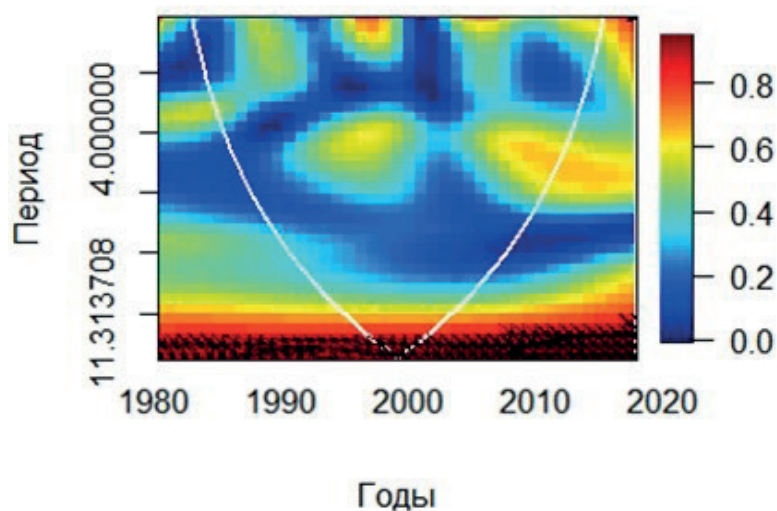


Рис. 6. Спектр вейвлет-когерентности осаждаемой атмосферной влаги и индекса PDO для теплого сезона
Fig. 6. Wavelet coherence spectrum of the atmospheric precipitable water and PDO index for the warm season

Область когерентности наблюдается в течение всего исследуемого периода, коэффициент когерентности 0.8, колебания происходят скорее в фазе.

Заключение

Совместный анализ временного хода рядов осаждаемой влаги и индекса PDO показал, что на исследуемой территории существует статистическая квазидесятилетняя связь между указанными параметрами.

Взаимосвязь пространственного распределения осаждаемой влаги в атмосфере с преобладающими юго-западными

потоками наиболее существенно проявляется в теплом сезоне.

Анализ вейвлет-спектров показал, что наиболее явно эта связь проявляется в теплом сезоне. В связи с ограниченной длиной исходного ряда не представляется возможным определить верхнюю границу когерентных колебаний в рядах анализируемых параметров. Однако, можно с большой долей уверенности предполагать, что для исследуемой территории в теплом сезоне существуют устойчивая связь между циркуляционной формой индекса PDO и осаждаемой влагой в масштабе 11-летних периодов колебаний.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Работа выполнена в рамках проекта Минобрнауки России «Оценка сезонных особенностей атмосферного поступления и последующего распределения загрязняющих веществ на водосборной площади ключевых участков бассейна Оби в зависимости от природно-климатических условий».

Список литературы

Библиотека Basemap на языке программирования Python [Электронный ресурс]. URL: <https://matplotlib.org/basemap/users/download.html> (дата обращения: 23.10.23).

Монин А.С. Введение в теорию климата. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 246 с.

Реанализ NCEP-NCAR [Электронный ресурс]. URL: <https://psl.noaa.gov/data/reanalysis/> (дата обращения: 03.11.23).

Gouhier T.C., Grinsted A., Simko V. R package biwavelet: Conduct Univariate and Bivariate Wavelet Analyses. (Version 0.20.21). 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/tgouhier/biwavelet> (дата обращения: 23.10.23).

Marcus S., Kim J., Chin T., Danielson D., Laber J. Influence of GPS Precipitable Water Vapor Retrievals on Quantitative Precipitation Forecasting in Southern California // J. Appl. Meteor. Climatol. 2007. V. 46. P. 1828–1839. doi: 10.1175/2007JAMC1502.1

NOAA's Climate Prediction Center. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/> (дата обращения: 15.10.23).

Wang R., Fu Y., Xian T., Chen F., Yuan R., Li R., Liu G. Evaluation of Atmospheric Precipitable Water Characteristics and Trends in Mainland China from 1995 to 2012 // J. Climate. 2017. V. 30. P. 8673–8688. doi: 10.1175/JCLI-D-16-0433.1

Yang L., Smith J. Sensitivity of Extreme Rainfall to Atmospheric Moisture Content in the Arid/Semiarid Southwestern United States: Implications for Probable Maximum Precipitation Estimates // J. Geophys. Res.: Atmospheres. 2018. V. 123. P. 1638–1656. doi: 10.1002/2017JD027850

References

Biblioteka Basemap na yazyke programirovaniya Python [Basemap library in Python programming language]. URL: <https://matplotlib.org/basemap/users/download.html> (accessed: 23.10.23).

Monin A.S. Vvedenie v teoriyu klimata [Introduction to climate theory]. L.: Gidrometeoizdat, 1982. 246 p. (in Russian).

Reanalysis NCEP-NCAR. URL: <https://psl.noaa.gov/data/reanalysis/> (accessed: 03.11.23).

Gouhier T.C., Grinsted A., Simko V. R package biwavelet: Conduct Univariate and Bivariate Wavelet Analyses. (Version 0.20.21). 2021 URL: <https://github.com/tgouhier/biwavelet> (accessed: 23.10.23).

Marcus S., Kim J., Chin T., Danielson D., Laber J. Influence of GPS Precipitable Water Vapor Retrievals on Quantitative Precipitation Forecasting in Southern California // J. Appl. Meteor. Climatol. 2007. V. 46. P. 1828–1839. doi: 10.1175/2007JAMC1502.1

NOAA's Climate Prediction Center. URL: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/> (accessed: 15.10.23).

Wang R., Fu Y., Xian T., Chen F., Yuan R., Li R., Liu G. Evaluation of Atmospheric Precipitable Water Characteristics and Trends in Mainland China from 1995 to 2012 // J. Climate. 2017. V. 30. P. 8673–8688. doi: 10.1175/JCLI-D-16-0433.1

Yang L., Smith J. Sensitivity of Extreme Rainfall to Atmospheric Moisture Content in the Arid/Semiarid Southwestern United States: Implications for Probable Maximum Precipitation Estimates // J. Geophys. Res.: Atmospheres. 2018. V. 123. P. 1638–1656. doi: 10.1002/2017JD027850

DEPENDENCE OF THE ATMOSPHERE DISTRIBUTION OF PRECIPITABLE WATER ON THE QUASI-DECADAL PACIFIC CIRCULATION FACTOR PDO (FOR THE TERRITORY OF THE ALTAI REGION)

N.N. Bezuglova, K.Y. Sukovatov

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul

E-mail: bezuglovan@gmail.com; skonstantiny@gmail.com

This work analyzes the relationship between total precipitable water in the troposphere and circulation conditions determined by the PDO teleconnection index for the flat territory of the Altai Region for the cold and warm seasons. Based on the analysis of trends in interannual changes, spatial distribution, periodic oscillations in the time series of the studied parameters,

it was established that in the study area there is a statistical quasi-decadal relationship between these parameters. The relationship between the spatial distribution of precipitable water in the atmosphere and the prevailing southwesterly flows is most significantly manifested in the warm season. Analysis of wavelet spectra showed that with a high degree of confidence it can be assumed that for the study area in the warm season there is a stable relationship between the circulation form of the PDO index and precipitable water on the scale of 11-year periods of oscillations.

Key words: precipitable water; atmospheric circulation; PDO teleconnection index; spatial distribution of precipitable water; periodic oscillations of time series.

Received January 15, 2024. Accepted: February 6, 2023

Сведения об авторах

Безуглова Надежде Николаевна – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории физики атмосферно-гидросферных процессов Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. 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 СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0003-3763-6291. E-mail: skonstantiny@gmail.com.

Information about the authors

Bezuglova Nadezhda Nickolaevna – PhD of Physical and Mathematical Sciences, Researcher of the Laboratory of Atmosphere-Hydrosphere Physics Processes of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-1985-9352. E-mail: bezuglovan@gmail.com.

Sukovатов Konstantin Yurievich – PhD of Physical and Mathematical Sciences, Researcher of the Laboratory of Atmosphere-Hydrosphere Physics Processes of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-3763-6291. E-mail: skonstantiny@gmail.com.