

Раздел 2

ГИДРОЛОГИЯ. КЛИМАТ

Section 2

HYDROLOGY. CLIMATE

УДК 551.582; 551.583

**СВЯЗЬ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ
ОСАДКОВ С ОСОБЕННОСТЯМИ РЕГИОНАЛЬНОЙ
ЦИРКУЛЯЦИИ (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*

Работа посвящена установлению связи между изменчивостью средних многолетних сезонных осадков на равнинной территории Алтайского края и особенностями региональной атмосферной циркуляции за период 2014–2023 гг. В качестве параметра, характеризующего локальный межширотный обмен, определяющего преобладание широтных либо меридиональных процессов в конкретном регионе, использовался индекс меридиональности MCI. Показано, что различие между анализируемыми параметрами для холодного и теплого сезонов связано с особенностями сезонных барических полей. Установлено, что корреляция между количеством осадков и индексом MCI в теплом сезоне значительно выше, чем в холодном. Совместный анализ гидрометеорологических параметров позволяет сделать вывод о том, что на режим увлажнения исследуемой территории в теплый сезон межширотный обмен оказывает более существенное влияние по сравнению с холодным сезоном.

Ключевые слова: атмосферные осадки; региональный климат; циркуляция атмосферы; индекс меридиональности MCI.

DOI: 10.24412/2410-1192-2024-17402

Дата поступления: 9.08.2024. Принята к печати: 31.08.2024

Изменчивость сезонных атмосферных осадков существенно влияет на режим увлажнения территорий. Циркуляционные процессы в атмосфере играют ключевую роль в пространственно-временном распределении атмосферной влаги и осадков [Fukutomi et al., 2007; Niyama et al., 2016].

Любая циркуляционная структура определяет для данной территории (в региональном масштабе) либо преобладание зонального переноса воздушных масс, либо активный межширотный обмен.

Для характеристики механизмов, определяющих изменчивость атмосферной влаги и осадков, необходимо установить связь между изменчивостью осадков и преобладанием над исследуемой территорией меридиональных или широтных атмосферных процессов в средней и нижней тропосфере.

Цель данной работы – установить связь пространственно-временной изменчивости сезонных осадков для исследуемой территории с особенностями региональной атмосферной циркуляции за период 2014–2023 гг.

Методы и данные

Исследуемая область представляет собой равнинную территорию Алтайского Края (координатная область 52.0–54.0° с.ш., 81.0–85.0° в.д.).

В работе использовались сеточные массивы данных об атмосферных осадках GPCC [Сеточный массив данных GPCC, 2024], GPCP [Сеточный массив данных GPCP, 2024], а также данные реанализов NCEP/NCAR [База данных NCEP/NCAR, 2024] и ERA5 [База данных ERA5, 2024] о геопотенциале и компонентах скорости ветра за период 2014–2023 гг. Сеточные массивы данных о количестве атмосферных осадков представляют собой данные метеостанций, дополненные спутниковой информацией.

В качестве динамической характеристики атмосферных процессов использовался индекс меридиональности (MCI), предложенный авторами работы [Francis, Vavrus, 2012]:

$$MCI = \frac{v * |v|}{v^2 + u^2},$$

где v и u – меридиональная и широтная компоненты скорости воздушного потока. Индекс меридиональности MCI изменяется в диапазоне от -1 до 1. Предельные значения индекса соответствуют исключительно меридиональным процессам для северного и южного направлений ветров соответственно. Промежуточные значения индекса MCI реализуются соотношением меридиональной и широтной составляющих скорости ветра. Чем больше по абсолютной величине значение индекса, тем больше величина меридиональной составляющей скорости ветра. Направление

с юга на север считается положительным для меридиональной компоненты скорости ветра, с запада на восток – для широтной компоненты скорости. В настоящей работе индекс меридиональности MCI был рассчитан на основе среднемесячных значений зональной и меридиональной компонент скорости ветра для изобарической поверхности 850 ГПа по данным реанализов ERA5 и NCEP/NCAR за период с 2014 по 2024 гг. Индекс MCI в значительной степени характеризует локальный межширотный обмен. На основе указанных данных были построены осредненные по площади временные ряды осадков и индекса меридиональности для теплого (апрель–октябрь) и холодного (ноябрь–март) сезонов.

Выполнен анализ корреляционных связей между количеством атмосферных осадков и индексом меридиональности на исследуемой территории для теплого (апрель–октябрь) и холодного (ноябрь–март) сезонов.

Для анализа сезонных особенностей региональной циркуляции в синоптическом масштабе были построены пространственные распределения поля геопотенциала и линий тока поля скоростей на уровне 850 гПа для исследуемой территории.

Результаты и их обсуждение

Результаты корреляционного анализа рядов осадков по данным массивов GPCC, GPCP и индекса меридиональности по данным реанализов ERA5, NCEP/NCAR приведены в таблице. Для всех массивов анализируемых данных имеет место корреляционная связь между исследуемыми параметрами. Уровень значимости коэффи-

коэффициента корреляции Пирсона не ниже 0.95.

Как видно из данных таблицы, между рядами осадков и индексом меридиональности существует положительная статистическая связь, как в теплом, так и в холодном сезонах, причем для теплого сезона коэффициент корреляции в целом выше, чем для холодного. Что касается отдельных массивов данных, то для каждого из сезонов существенных различий не отмечается, однако, для осадков на основе массива данных GPCP коэффициенты корреляции между осадками и индексом меридиональности для холодного и теплого сезонов отличаются более явно, чем для данных об атмосферных осадках на основе массива GPCC.

Таблица

Результаты корреляционного анализа между значениями осадков и индекса меридиональности для теплого и холодного сезонов

Table

Results of correlation analysis between the values of precipitation and meridionality index for the warm and cold seasons.

Массивы данных	R	
	Холодный	Теплый
MCI (era5)_GPCC	0.37	0.41
MCI (era5)_GPCP	0.28	0.56
MCI (ncnr)_GPCC	0.34	0.49
MCI (ncnr)_GPCP	0.25	0.58

На рисунке 1 приведены исходные временные ряды атмосферных осадков для теплого и холодного сезонов.

Временные изменения осадков, как в теплом, так и в холодном сезоне имеют колебательный характер, причем качественный анализ показывает, что изменения в каждом из сезонов не имеют явной взаимосвязи.

На рисунке 2 представлено соотношение значений индекса меридиональности

для теплого и холодного сезонов, полученное на основе временных рядов индекса MCI за период 2014–2023 гг.

В теплом сезоне преобладающей была северная компонента скорости ветра, поскольку значения MCI были преимущественно отрицательными либо близкими к нулю положительными. Для теплого сезона значения индекса меридиональности существенно изменялись по абсолютной величине. В течение 2014–2023 гг. значения индекса меридиональности для теплого сезона по абсолютной величине больше, чем для холодного. В холодном сезоне на анализируемом временном отрезке наблюдались исключительно положительные значения индекса MCI, которым соответствуют воздушные потоки преимущественно с южной составляющей. Значения индекса меридиональности по абсолютной величине изменялись несущественно.

На рисунках 3 и 4 представлены пространственные распределения средних многолетних значений геопотенциала. Величина геопотенциала определяется цветовой шкалой: минимальным значениям соответствуют оттенки синего цвета, максимальным – желто-красного, промежуточным – зелено-голубого. На цветовой панели справа указаны числовые величины геопотенциала. Координатная область, ограничивающая исследуемую территорию, выделена красным прямоугольником.

Пространственное распределение геопотенциала теплого сезона соответствует конфигурации поля, характерного для условий преобладания меридиональных процессов в средних и высоких широтах.

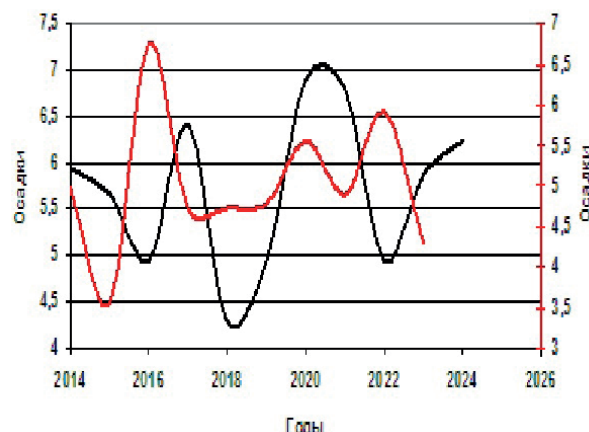


Рис.1. Временной ход осадков (массив NCEP/NCAR, мм/день) для теплого (апрель-октябрь, красная линия) и холодного (ноябрь-март, черная линия)
Fig.1. Time course of precipitation (mm/day) for the warm (april-october, red line) and cold (november-march, black line) seasons

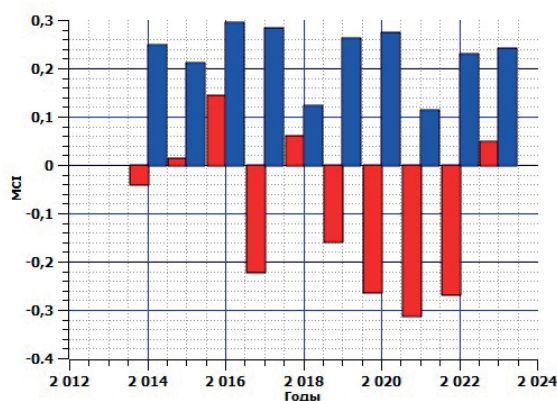


Рис. 2. Диаграмма индекса меридиональности MCI (безразмерная величина) для теплого (красный) и холодного (синий) сезонов
Fig. 2. Diagram of the MCI meridional index (dimensionless value) for the warm (red) and cold (blue) season

Очаг минимальных значений геопотенциала находится в Северном Ледовитом океане, в районе о. Северная Земля, максимальных – над северо-востоком Африки). Распределение линий тока показывает, что в области средних и высоких широт в западной половине области построения наблюдается высотный гребень, в восточной части – глубокая ложбина. Исследуемая территория находилась на южной периферии высотной ложбины (область пониженных значений геопотенциала) под влиянием северо-западных воздушных потоков. Для холодного сезона поле

геопотенциала соответствует преобладанию широтных процессов, наблюдается мало возмущенный западно-восточный перенос. Область наименьших значений геопотенциала, соответствующая низкому давлению (высотной ложбине), располагается в высоких широтах (60–80°с.ш.). Над крайними южными районами исследуемой территории наблюдается область наибольших значений геопотенциала (высокое давление), в средних широтах (50–60°с.ш.) находится область с промежуточными значениями (переходная область).

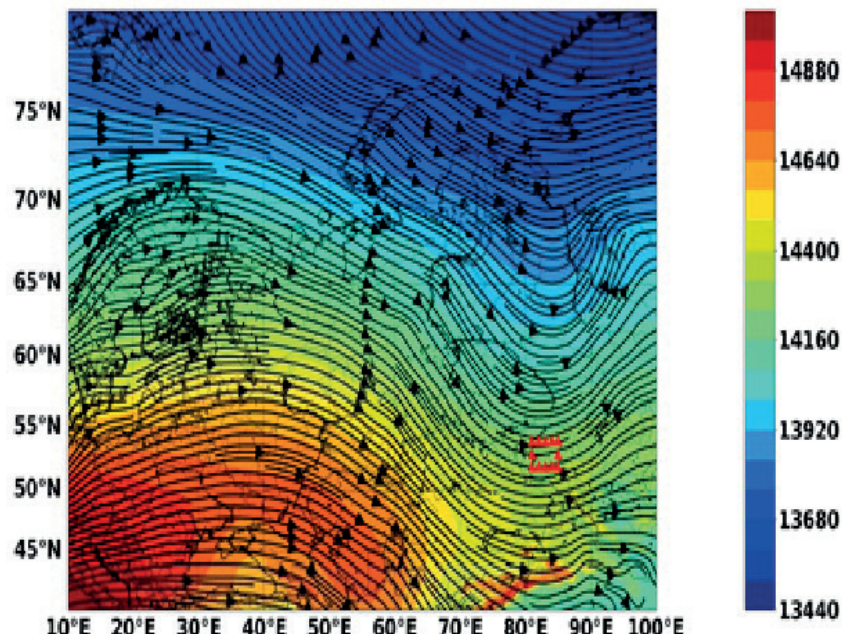


Рис. 3. Пространственное распределение поля геопотенциала и линий тока поля скоростей на уровне 850 гПа для теплого сезона

Fig. 3. Spatial distribution of the geopotential field and velocity field streamlines at the 850 hPa level for the warm season

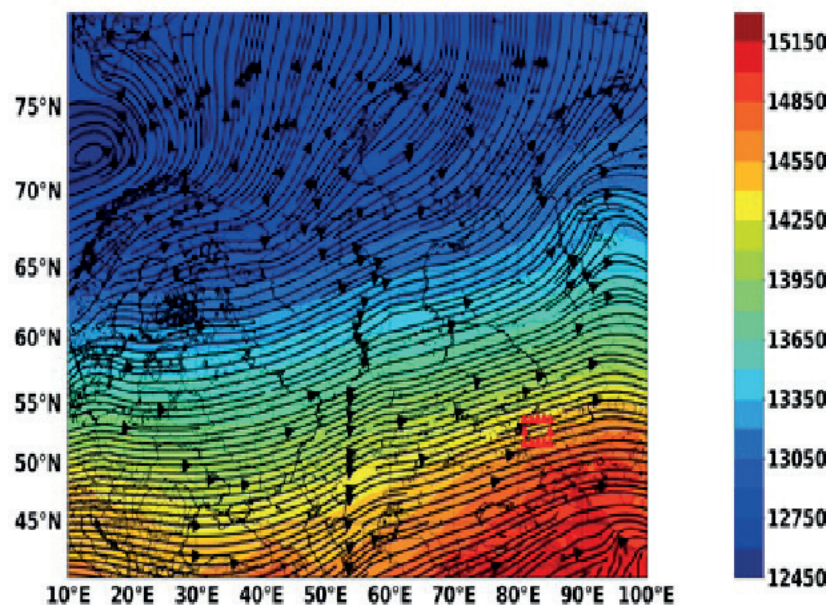


Рис. 4. Пространственное распределение поля геопотенциала и линий тока поля скоростей на уровне 850 гПа для холодного сезона

Fig. 4. The spatial distribution of the geopotential field and velocity field streamlines at the level of 850 gPa for the cold season

Таким образом, наблюдалось постепенное увеличение геопотенциала от высоких широт к средним. Исследуемая территория находилась под влиянием западных потоков с южной составляющей, условий для усиления меридиональности не наблюдалось.

Совместный анализ гидрометеорологических параметров для каждого сезона показал, что в теплый сезон реализуются условия преобладания меридиональных процессов, в средних широтах преобладают воздушные потоки с северной составляющей.

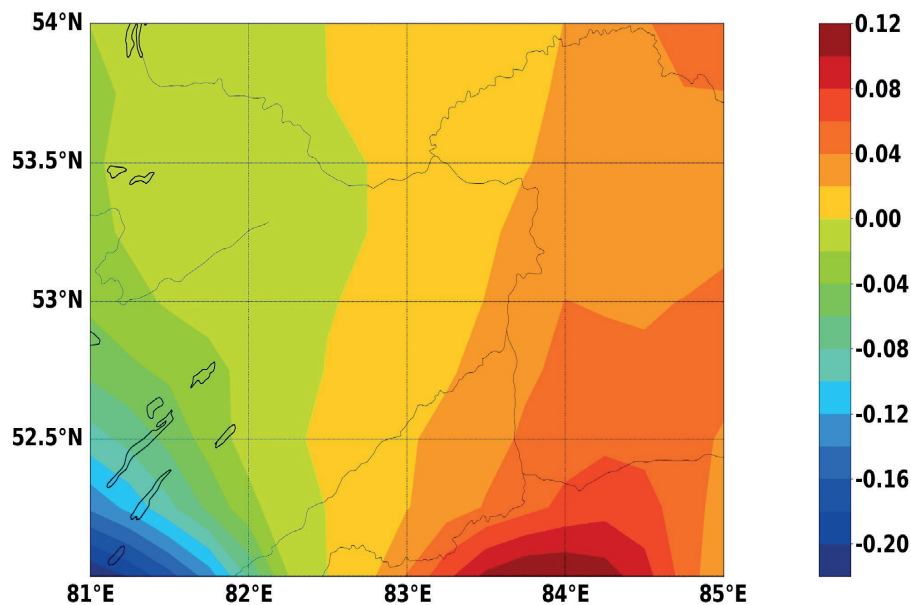


Рис. 5. Пространственное распределение индекса меридиональности на уровне 850 гПа для теплого сезона

Fig. 5. Spatial distribution of the meridional index at 850 hPa for the warm season

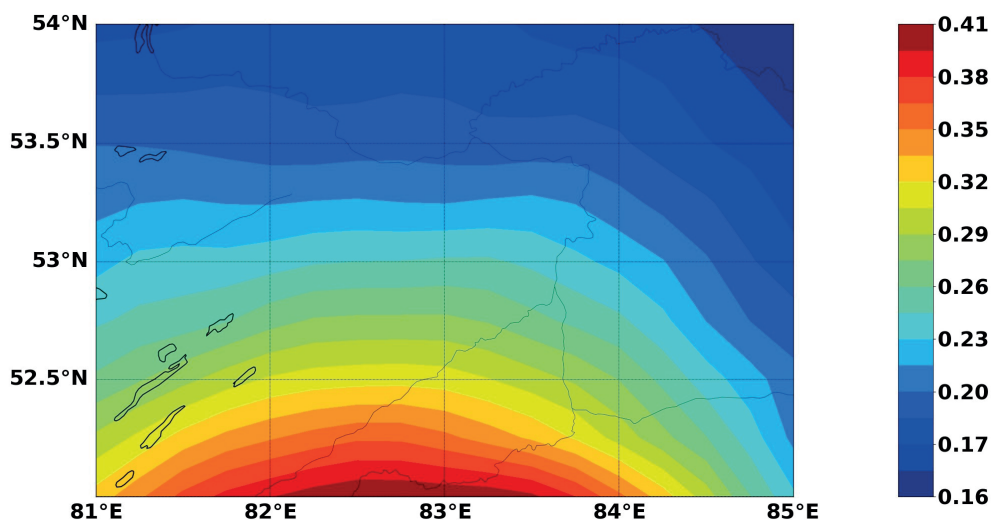


Рис. 6. Пространственное распределение индекса меридиональности на уровне 850 гПа для холодного сезона

Fig. 6. Spatial distribution of the meridional index at 850 hPa for the cold season

На рисунках 5, 6 представлены пространственные распределения средних многолетних значений индекса меридиональности для теплого и холодного сезонов.

Значения индекса МСИ указаны на цветовой шкале: положительным значениям соответствуют красно-бежевые оттенки, нулевым — желтый цвет, отрицательные

значения индекса обозначены сине-голубыми оттенками.

В теплом сезоне в западной половине исследуемой территории наблюдались отрицательные и нулевые значения, в восточной части преобладали положительные значения индекса МСИ. Последнее свидетельствует об устойчивом преобладании северной составляющей воздушных по-

токов в западной половине исследуемой территории и южной составляющей в восточной ее части. Такая конфигурация свидетельствует о локальном усилении меридиональности циркуляционных процессов для рассматриваемой территории.

Для холодного сезона пространственное распределение индекса МСИ имеет широтный характер, увеличиваясь по абсолютной величине с севера на юг. Значения индекса меридиональности строго положительные, т.е. соответствующие преобладанию меридиональных процессов с южной составляющей воздушных потоков.

В теплый сезон более значимым циркуляционным фактором является межширотный обмен и его влияние на режим увлажнения исследуемой территории проявляется сильнее, чем в холодный сезон, когда более характерно преобладание широтных процессов в средних широтах и межширотный обмен ослаблен.

Заключение

Статистический анализ сезонных рядов осадков и индекса меридиональности позволил установить наличие корреляционной связи между изменчивостью количества осадков и локальными особенностями барического поля.

Установлено, что корреляция между количеством атмосферных осадков и индексом меридиональности сильнее в теплый сезон, чем в холодный.

Сравнительный анализ пространственного распределения геопотенциала и линий тока на уровне 850 гПа для разных сезонов года позволяет сделать вывод, что существует различие между анализируемыми параметрами для холодного и теплого сезонов, связанное с особенностями сезонных барических полей. Анализ среднесезонных полей геопотенциала показал, что в теплом сезоне меридиональные процессы выражены более явно, чем в холодном сезоне.

Результаты совместного анализа среднесезонных полей геопотенциала и индекса меридиональности позволяют сделать вывод, что в теплом сезоне меридиональные процессы выражены более явно, чем в холодном сезоне для исследуемой территории.

Показано, что на изменчивость атмосферных осадков в теплом сезоне межширотный обмен оказывает более существенное влияние по сравнению с холодным сезоном.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interests.

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта FUFZ-2021-0004 «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

База данных GPCC [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dwd.de/EN/ourservices/gpcc/gpcc.html> (дата обращения: 17.06.2024).

База данных GPCP URL: <https://www.ncei.noaa.gov/products/climate-data-records/precipitation-gpcp-monthly> (дата обращения: 18.06.2024).

База данных ERA5 [Электронный ресурс]. URL: <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation>. (дата обращения: 19.06.2024).

База данных NCEP/NCAR [Электронный ресурс]. URL: <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html> (дата обращения: 20.06.2024).

Francis J.A., Vavrus S.J. Evidence linking Arctic amplification to extreme weather in mid-latitudes // *Geophys. Res. Lett.* 2012. Vol. 39 (6). L06801. doi: 10.1029/2012GL051000

Fukutomi Y, Masuda K, Yasunari T. Cyclone activity associated with the interannual see-saw oscillation of summer precipitation over northern Eurasia // *Global and Planetary Change*. 2007. Vol. 56. P. 387–398.

Hiyama T., Fujinami H, Kanamori H., Ishige T. and Oshima K. Recent interdecadal changes in the interannual variability of precipitation and atmospheric circulation over northern Eurasia // *Environment Research Letters*. 2016. Vol. 11. doi: 10.1088/1748-9326/11/6/065001

References

Baza dannyykh GPCC [Database GPCC]. URL: <https://www.dwd.de/EN/ourservices/gpcc/gpcc.html> (accessed: 17.06.2024).

Baza dannyykh GPCP [Database GPCP]. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/products/climate-data-records/precipitation-gpcp-monthly> (accessed: 18.06.2024).

Baza dannyykh ERA5 [Database ERA5]. URL: <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation>. (accessed: 19.06.2024).

Baza dannyykh NCEP/NCAR [Database NCEP/NCAR]. URL: <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html> (дата обращения: 20.06.2024).

Francis J.A., Vavrus S.J. Evidence linking Arctic amplification to extreme weather in mid-latitudes // *Geophys. Res. Lett.* 2012. Vol. 39 (6). L06801. doi: 10.1029/2012GL051000

Fukutomi Y, Masuda K, Yasunari T. Cyclone activity associated with the interannual see-saw oscillation of summer precipitation over northern Eurasia // *Global and Planetary Change*. 2007. Vol. 56. P. 387–398.

Hiyama T., Fujinami H, Kanamori H., Ishige T. and Oshima K. Recent interdecadal changes in the interannual variability of precipitation and atmospheric circulation over northern Eurasia // *Environment Research Letters*. 2016. Vol. 11. doi: 10.1088/1748-9326/11/6/065001

RELATIONSHIP BETWEEN SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF PRECIPITATION AND FEATURES OF REGIONAL CIRCULATION (FOR THE TERRITORY OF 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

The work is devoted to establishing a connection between the variability of seasonal precipitation on the flat territory of the Altai Territory and the features of regional atmospheric circulation over the last decade. The MCI meridionality index was used as a parameter characterizing local interlatitudinal exchange and determining the predominance of latitudinal or meridional processes in a particular region. It is shown that the difference between the analyzed parameters for the cold and warm seasons is associated with the characteristics of seasonal pressure fields. It has been established that the correlation between precipitation and the MCI index is stronger in the warm season than in the cold season. Geopotential (850gPa) spatial analysis confirms the conclusion that the interlatitudinal exchange has a more significant influence on the humidification regime of the study area in the warm season compared to the cold season.

Key words: precipitation; regional climate; atmospheric circulation; MCI meridionality index.

Received August , 2024. Accepted: August 31, 2024

Сведения об авторах

Безуглова Надежда 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 in Physical and Mathematical Sciences, Researcher of the Laboratory of Atmosphere-Hydrosphere Physics 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 Yuriyevich – PhD in Physical and Mathematical Sciences, Researcher of the Laboratory of Atmosphere-Hydrosphere Physics 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.