

Науки о Земле

УДК 551.5(282.256.341)
DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-8-6-13

МЕЗОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ПОБЕРЕЖЬЕ оз. БАЙКАЛ

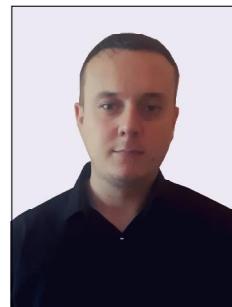
MESOSCALE FEATURES OF CLIMATIC CHANGE ON THE COAST OF THE LAKE BAIKAL



С. Ж. Вологжина,
Иркутский государственный
университет,
г. Иркутск
svologzhina@gmail.com



И. В. Латышева,
Иркутский государственный
университет,
г. Иркутск
ababab1967@mail.ru



С. В. Латышев,
Ордена Трудового Красного Знамени
Институт солнечно-земной физики
СО РАН, г. Иркутск
srg.87@bk.ru

S. Vologzhina,
Irkutsk State University, Irkutsk

I. Latysheva,
Irkutsk State University, Irkutsk

S. Latyshev,
Institute of Solar-Terrestrial Physics SB
RAS, Irkutsk



К. А. Лощенко,
Иркутский государственный
университет, г. Иркутск
loshchenko@bk.ru



С. В. Олемской,
Ордена Трудового Красного Знамени
Институт солнечно-земной физики
СО РАН, г. Иркутск
olemskoy@mail.ru

K. Loschenko,
Irkutsk State University,
Irkutsk

S. Olemskoy,
Institute of Solar-Terrestrial Physics SB
RAS, Irkutsk

Статья посвящена исследованию климатических и мезометеорологических особенностей побережья оз. Байкал, которое основано на выходных данных одиннадцати метеорологических станций Иркутского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, прогностической модели GFS и архивов снимков облачности ИСЗФ СО РАН. Данное исследование позволило впервые проанализировать сезонные и пространственные особенности распределения комплекса метеорологических величин,

которые ранее в данном регионе не изучались. Проведен сравнительный анализ аномалий температуры воздуха и атмосферных осадков в зональную и меридиональную эпохи циркуляции. Установлено, что на фоне увеличения вклада меридиональных атмосферных процессов в 2006–2018 гг. на побережье оз. Байкал темпы потепления климата снизились в холодный период года и существенно возросли в теплый. На основе картирования выявлены зоны с максимальными изменениями температуры воздуха и сумм атмосферных осадков. Теплый период года характеризуется уменьшением сумм осадков, за исключением станций, расположенных на южной оконечности оз. Байкал, что следует учитывать при прогнозе экстремально высоких значений атмосферных осадков и возможного повышения уровня рек. Преобладающие типы атмосферных процессов по данным дешифрирования космических снимков облачности выделены в периоды с выпадением максимального количества атмосферных осадков и путем со-поставления полей облачности с приземными синоптическими картами. Установлено, что наиболее высока вероятность возникновения опасных погодных и климатических явлений на южной оконечности оз. Байкал, особенно в условиях развития конвективной облачности и мезомасштабных конвективных систем

Ключевые слова: Байкальский регион; климат; мезоклимат; циркуляция атмосферы; температура воздуха; атмосферные осадки; аномалии; энергия неустойчивости; влагосодержание облаков; прогностическая модель; дешифрирование

The article is devoted to the study of climatic and meso-meteorological features of the coast of the Lake Baikal, which is based on the output of 11 meteorological stations of the Irkutsk Hydrometeorology and Environmental Monitoring department, the GFS forecast model and cloud image archives of the ISTP SB RAS. This study allowed for the first time to analyze the seasonal and spatial features of the distribution of a complex of meteorological quantities that have not been previously studied in this region. A comparative analysis of the anomalies of air temperature and precipitation in the zonal and meridional epochs of circulation is carried out. It is established that against the background of an increase in the contribution of meridional atmospheric processes in 2006–2018 on the coast of the Lake Baikal has decreased the rate of climate warming in the cold season and increased significantly in the warm period. Based on the mapping, zones with maximum changes in air temperature and precipitation were identified. The warm season is characterized by a decrease in precipitation, except for stations located on the southern tip of the Lake Baikal, this should be considered when forecasting extremely high precipitation and a possible increase in river levels. According to the interpretation of satellite images of clouds during periods with a maximum amount of precipitation and by comparing cloud fields with surface synoptic maps, the prevailing types of atmospheric processes are identified. It has been established that the highest probability of occurrence of dangerous weather and climatic phenomena at the southern tip of the Lake Baikal, especially in the conditions of the development of convective clouds and mesoscale convective systems

Key words: Baikal region; climate; mesoclimate; atmospheric circulation; air temperature; precipitation; anomalies; instability energy; moisture content of clouds; forecast model; interpretation

Введение. Современные темпы изменений климата на территории Байкальского региона накладываются на возросший уровень антропогенной нагрузки и могут негативно сказываться на экологическом состоянии оз. Байкал [5]. Проведенные исследования и результаты численного моделирования показывают, что в условиях наблюдаемых тенденций повышения температуры воздуха и воды, увеличения интенсивности приходящей солнечной радиации, уменьшения сумм атмосферных осадков и ослабления ветра возрастают риски эвтрофирования водоема [3]. Следствием увеличения засушливости явился довольно продолжительный маловодный период в бассейне оз. Байкал [4]. Аналогичные тенденции понижения уровня воды с уве-

личением периодов продолжительной засухи выявлены для оз. Эби-Нур, группы озер в Афганистане и др. [6; 7; 8]. В этой связи возрас-тает интерес к региональным исследованиям современных тенденций изменений климата на побережье оз. Байкал.

Одним из основных факторов, определяющих специфику климата, является изменение крупномасштабных форм атмосферной циркуляции и мезомасштабных форм ее проявления в условиях неоднородного рельефа. Для того, чтобы оценить влияние циркуляционных факторов в изменениях климата на побережье оз. Байкал, применялся календарь циркуляционных эпох, которые выделялись на основе широко используемой в России типизации атмосферных процессов, разрабо-

танной для внетропических широт Северного полушария Б. Л. Дзердзеевским и в настоящее время успешно продолжаемой Н. К. Кононовой [1]. С учетом преобладающих типов синоптических процессов принято выделять зональную и меридиональную циркуляционную эпохи. На территории Байкальского региона с 2006 г. по настоящее время отмечается меридиональная эпоха циркуляции, которая сменила предшествующую зональную циркуляционную эпоху (1977–2005). При значительном уменьшении продолжительности широтной западной группы атмосферных процессов в последние годы существенно возросла продолжительность долготной северной группы, для которой характерно усиление меридиональности процессов, и, как следствие, вероятности аномально холодных и теплых, аномально влажных и сухих периодов.

Методология исследования. Для оценки вклада мезомасштабных факторов в изменение погодных и климатических характеристик выполнено исследование метеорологических параметров по данным одиннадцати метеорологических станций Иркутского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды: Байкальск (51° с. ш., 104° в. д.), Култук (51° с. ш., 103° в. д.), Исток Ангары (51° с. ш., 104° в. д.), Еланцы (52° с. ш., 106° в. д.), Хужир (53° с. ш., 107° в. д.), Большое Голоустное (52° с. ш., 105° в. д.), Большой Ушканий (53° с. ш., 108° в. д.), Сарма (53° с. ш., 106° в. д.), Узур (53° с. ш., 107° в. д.), Солнечная (54° с. ш., 108° в. д.), Баргузинский Заповедник (54° с. ш., 109° в. д.) (рис. 1). Рассчитывались аномалии средних месячных значений температуры воздуха и сумм атмосферных осадков, осредненных в зональную и меридиональную циркуляционные эпохи, по отношению к средним значениям в 1977–2018 гг. Для оценки пространственно-временных особенностей распределения аномалий метеорологических величин на территории Иркутской области и побережье оз. Байкал использовался метод картирования, в основе которого многоуровневая В-сплайн аппроксимация. Для построения карт использованы расчетные значения 73 метеорологических станций. Изолинии на картах проводились с учетом доверительного интервала, определяемого по критерию Стьюдента для надежности 99 %.

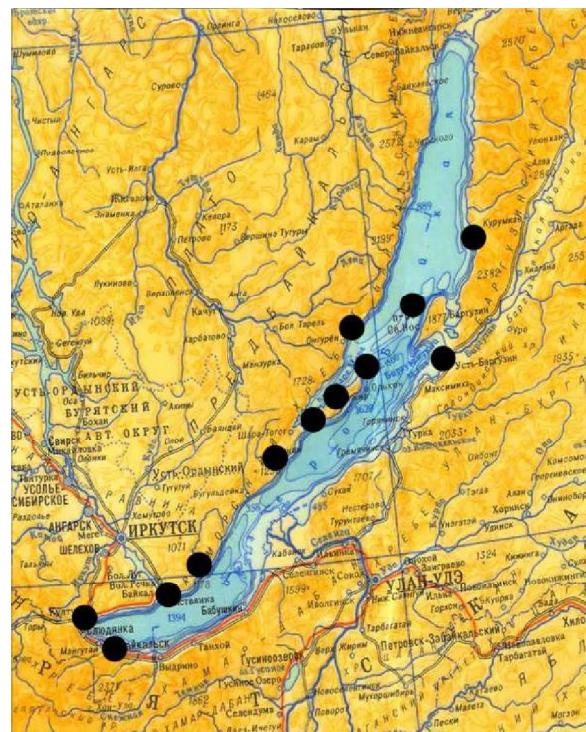


Рис. 1. Схема метеорологических станций в районе исследования / Fig. 1. Scheme of meteorological stations in the studied area

Исследование мезометеорологического режима побережья оз. Байкал проводилось по ежедневным данным прогностической модели GFS (Global Forecast System EMC/NCEP/NWS/NOAA) [9]. В качестве исходных данных рассматривались количественные значения температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$), трехчасовых сумм выпавших атмосферных осадков (мм), направление ($^{\circ}$) и скорость ветра (м/с); мгновенная плотность энергии ветра ($\frac{1}{2}\rho v^3$), где ρ – плотность воздуха, v – скорость ветра, которая определялась на трех уровнях: 850 гПа (1,5 км), 500 гПа (5 км) и 250 гПа (9 км), влагосодержание облаков ($\text{кг}/\text{м}^2$) и потенциальная энергия конвективной неустойчивости (Дж/кг) на уровне 700 гПа (3 км).

Результаты исследования. На рис. 2 показано распределение аномалий средних температур в современную циркуляционную эпоху на исследуемых метеорологических станциях. В 2006–2018 гг. на побережье оз. Байкал преобладали положительные аномалии средних месячных температур воздуха. Максимальных значений они достигают в июле ($+1,8^{\circ}\text{C}$) на ст. Большой Ушканый, в феврале ($+1,2^{\circ}\text{C}$) и марте ($+1,4^{\circ}\text{C}$) на ст. Хужир. В январе на всех станциях, кроме

Култука ($-0,3^{\circ}\text{C}$), аномалии температур положительные с максимальными значениями $0,6^{\circ}\text{C}$ на ст. Хужир. Для сравнения на ст. Иркутск в январе они составили $+1,6^{\circ}\text{C}$. В феврале, по сравнению с остальными месяцами года, более выражена тенденция к понижению температур (Баргузинский заповедник, Култука и Еланцы). Наряду с отрицательными аномалиями, по сравнению с январем, в феврале более высокие значения и положительных аномалий, особенно на ст. Хужир, где они оказались ниже, чем в г. Иркутск, только на $0,3^{\circ}\text{C}$. В марте максимальные значения положительных аномалий сохраняются на ст. Хужир $-1,4^{\circ}\text{C}$, что на $1,5^{\circ}\text{C}$ ниже, чем в г. Иркутск. В апреле значения температурных аномалий варьировали от 0°C на ст. Баргузинский Заповедник до $1,3^{\circ}\text{C}$ на ст. Большое

Голоустное, что на $0,9^{\circ}\text{C}$ ниже, чем в г. Иркутск. В мае и сентябре максимальные значения сохраняются на ст. Хужир ($0,8^{\circ}\text{C}$ и $0,9^{\circ}\text{C}$ соответственно), что на $0,1^{\circ}\text{C}$ и $0,4^{\circ}\text{C}$ соответственно ниже, чем в г. Иркутск. Среди летних месяцев выделяются июль и август, когда по сравнению с весенним периодом положительные аномалии температур не только возрастают, достигая максимальных значений на ст. Большой Ушканый, но и превышают скорости роста температур в г. Иркутск. В целом, на побережье оз. Байкал, по данным рассматриваемых станций, во все месяцы, кроме июля и августа, положительные аномалии средних месячных температур были ниже, чем в г. Иркутск, расположенному на удалении от оз. Байкал и испытывающем более высокий уровень антропогенной нагрузки.

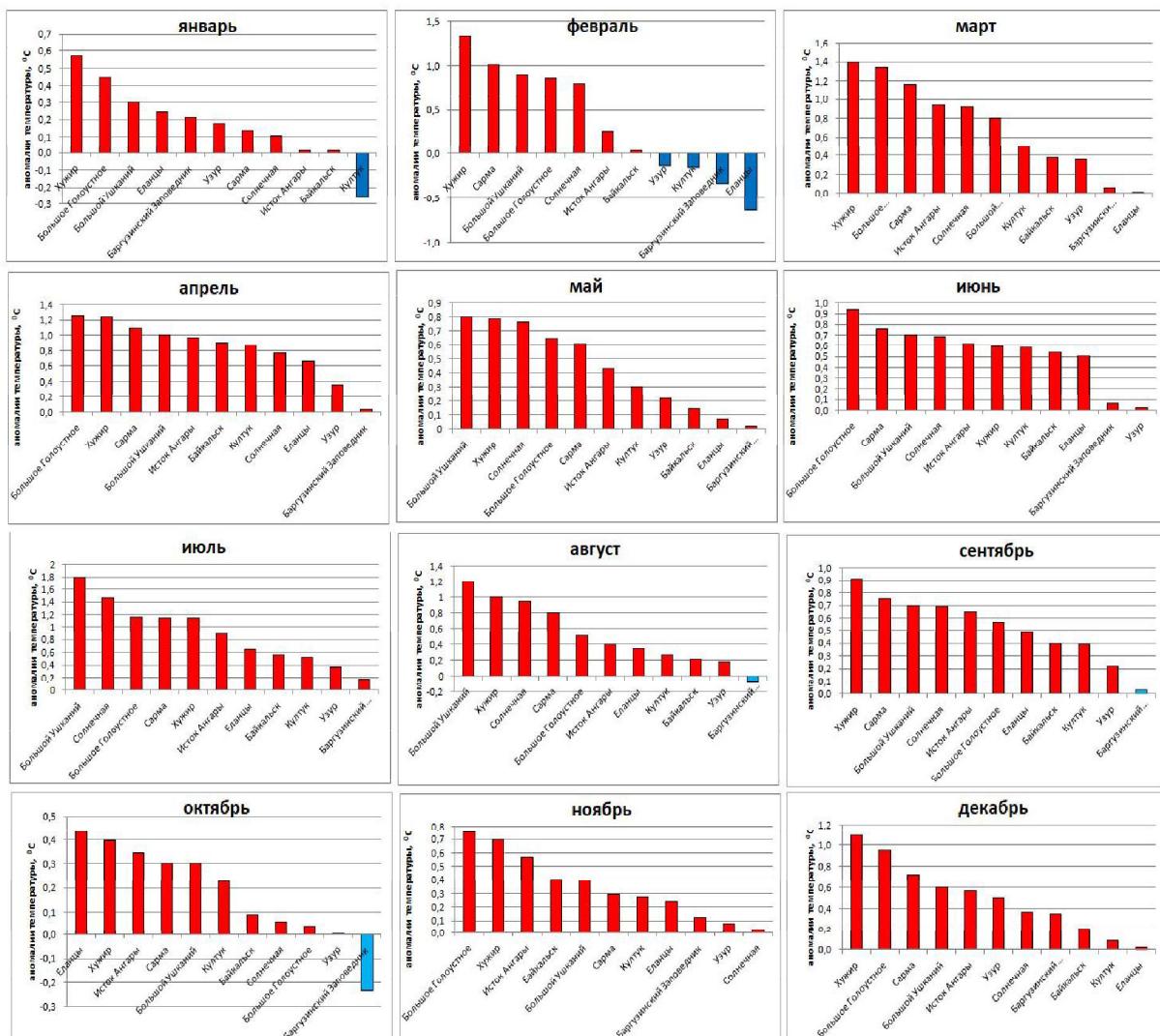


Рис. 2. Распределение аномалий средних месячных значений температуры воздуха на байкальских станциях в 2006–2018 гг., $^{\circ}\text{C}$ / Fig. 2. Distribution of anomalies in average monthly air temperatures at Baikal stations in 2006–2018, $^{\circ}\text{C}$

Еще более интересными оказались результаты сравнительного анализа аномалий средних месячных температур между двумя циркуляционными эпохами (рис. 3). В современную меридиональную эпоху (2006–2018) по сравнению с предшествующей зональной (1977–2005) на всех рассматриваемых байкальских станциях,

за исключением ст. Хужир, скорости роста температур уменьшились в холодный период года (октябрь–март) и возросли в теплый (апрель–сентябрь). На ст. Хужир, несмотря на сохраняющуюся тенденцию повышения средних месячных температур, максимальные температурные различия также приходятся на теплый период года.

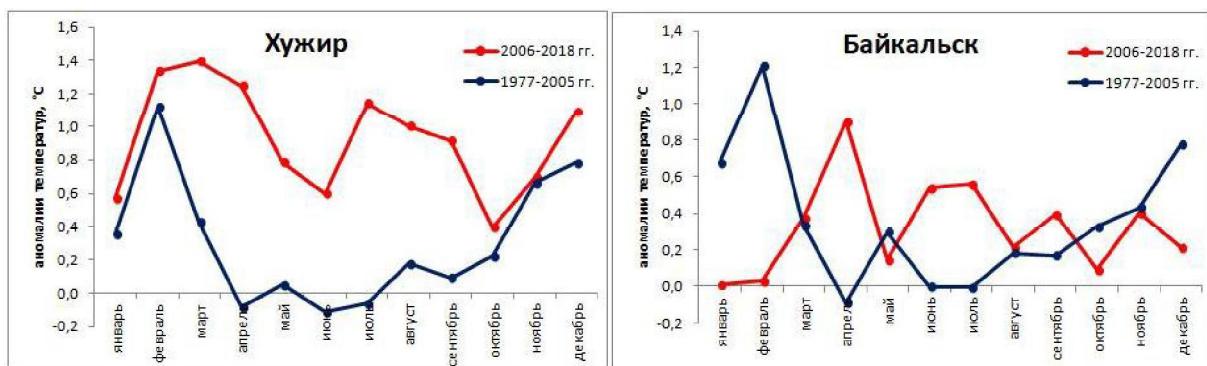


Рис. 3. Распределение аномалий средних месячных значений температуры воздуха на байкальских станциях в различные циркуляционные эпохи, °C / Fig. 3. Distribution of anomalies in mean monthly air temperature at Baikal stations in various circulation eras, °C

В распределении аномалий месячных сумм атмосферных осадков на байкальских станциях в 2006–2018 гг. характерен продолжительный период отрицательных аномалий (июнь–октябрь) с максимальными значениями в июле и августе. В эти месяцы в условиях активизации циклонической деятельности и смещении монгольских циклонов на побережье оз. Байкал обычно выпадает максимальное количество атмосферных осадков [2]. Наглядно уменьшение сумм осадков прослеживается на карте аномалий, построенной для августа, где южные районы Иркутской области и побережье оз. Байкал выделяются как зоны максимальных значений отрицательных аномалий месячных сумм выпавших осадков (рис. 4). Также следует выделить южные станции Байкальск, Исток Ангары и Култук, где в августе сохраняются положительные аномалии осадков. Возможно, данная тенденция являлась одним из ключевых климатических факторов экстремально высокого количества атмосферных осадков на южной оконечности озера и связанного с ним повышения уровня рек в августе 2019 г.

Выделяются месяцы с преобладанием положительных аномалий атмосферных

осадков в 2006–2018 гг.: май с максимальными значениями отклонений от средних порядка 10...11 мм на станциях Байкальск и Баргузинский Заповедник и ноябрь с максимальными значениями 6...9 мм на станциях Большой Ушкань и Баргузинский Заповедник. В эпоху зональной циркуляции в период с июля по сентябрь, наоборот, на всех байкальских станциях, за исключением ст. Байкальск в августе, отмечалось увеличение сумм осадков, а в феврале, мае, ноябре и декабре по количеству станций преобладали отрицательные аномалии.

По выходным данным прогностической модели GFS выявлены локальные особенности метеорологических величин, которые следует учитывать при оценке рекреационного и экологического потенциала Байкальского региона. Пространственные особенности распределения трехчасовых сумм атмосферных осадков тесно согласуются с пространственными различиями в распределении влагосодержания облачности и средними значениями потенциальной энергии конвективной неустойчивости, которые изменились от наименьших значений на ст. Баргузинский заповедник до максимальных на южной оконечности оз. Байкал.

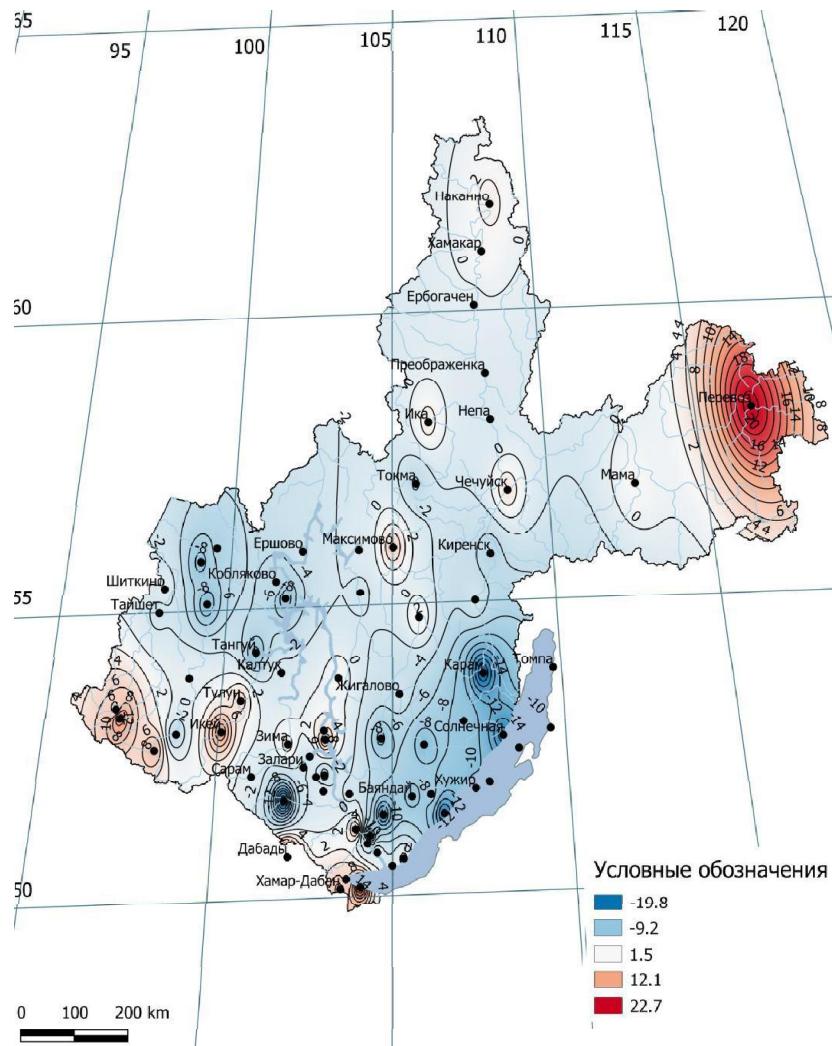


Рис. 4. Карты аномалий сумм атмосферных осадков в августе за период 2006–2018 гг. /
Fig. 4. Maps of anomalies of precipitation in August for the period 2006–2018

В заключение проанализированы снимки облачного покрова по данным архива ИСЗФ СО РАН [10] для случаев с максимальными значениями сумм осадков, влагосодержания и потенциальной энергии конвективной неустойчивости. Как правило, интенсивные осадки (≥ 4 мм/3 ч) наблюдались на фоне развития локальных конвективных ячеек в дневные часы, максимальные значения влагосодержания облаков – преимущественно при прохождении холодных атмосферных фронтов, наибольшие значения энергии потенциальной конвективной неустойчивости – при формировании мезомасштабных конвективных комплексов, а выпадение продолжительных обложных осадков – при смещении южного (монгольского) циклона.

Заключение. В 2006–2018 гг. в эпоху меридиональной циркуляции на побережье оз. Байкал преобладают тенденции повышения средних месячных температур воздуха, наиболее выраженные в июле и августе на фоне максимального прогрева. По сравнению с предшествующей зональной циркуляционной эпохой скорости роста температур уменьшились в холодный период года и возросли в теплый, который характеризуется уменьшением сумм осадков, за исключением станций, расположенных на южной оконечности оз. Байкал.

Исследование мезомасштабных особенностей метеорологических полей с применением выходных данных прогнозистических моделей показало, что юго-западная часть

оз. Байкал наиболее подвержена влиянию опасных погодных явлений (шквалы, грозы, ливни и т. д.) вследствие максимальных значений энергии потенциальной неустойчиво-

сти и влагосодержания атмосферы. Метеорологический режим на побережье оз. Байкал подвержен наибольшим изменениям в весенний период, наименьшим – в зимний.

Список литературы

1. Кононова Н. К., Черенкова Е. А. Повторяемость элементарных циркуляционных механизмов в атмосфере Северного полушария // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2018. № 6. С. 17–25.
2. Лощенко К. А., Латышева И. В. Региональные особенности синоптических процессов на территории Иркутской области в 2000–2013 гг. // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2015. Т. 11. С. 38–54.
3. Ордена трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики. URL: <https://www.ru.iszf.irk.ru> (дата обращения: 05.01.2019). Текст: электронный.
4. Потемкина Т. Г. Современные изменения гидрометеорологических характеристик в бассейне оз. Байкал: особенности и связь с экологическими процессами // III Виноградовские чтения. Границы гидрологии: сборник докладов. 2018. С. 624–626.
5. Синюкович В. Н., Латышева И. В., Макухин В. Л. Циркуляционные факторы современного маловодья в бассейне озера Байкал // География и природные ресурсы. 2019. № 3. С. 60–67.
6. Экологический атлас бассейна озера Байкал. Иркутск: Изд-во Института им. В. Б. Сочавы, 2015. 145 с.
7. Earth. URL: <https://www.earth.nullschool.net/ru> (дата обращения: 05.02.2019). Текст: электронный.
8. Liu D. W., Abuduwalli J., Lei J. Q., Wu G. Deposition rate and chemical composition of the aeolian dust from a Bare Saline Playa, Ebinur Lake, Xinjiang, China // Water, Air and Soil Pollution. 2011. Vol. 218, No. 1–4. P. 175–184.
9. Sun G. Y. Development and prospect of wetland science in China // Advance in Earth Sciences. 2000. Vol. 15, No. 6. P. 666–672.
10. Yuan Y., Zeng G., Liang J., Huang L., Hua Sh., Li F., Zhu Y., Wu H., Liu J., He X., He Y. Variation of water level in Dongting Lake over a 50-year period: Implications for impacts of anthropogenic and climatic factors // Journal of Hydrology. 2015. Vol. 525. P. 450–456.

References

1. Kononova N. K., Cherenkova E. A. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya* (Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical series), 2018, no. 6, pp. 17–25.
2. Loshchenko K. A., Latysheva I. V. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Nauki o Zemle"* (Bulletin of the Irkutsk State University. Series "Earth Sciences"), 2015, vol. 11, pp. 38–54.
3. *Ordena trudovogo krasnogo znameni institut solnechno-zemnoy fiziki* (Order of the Red Banner of Labour Institute of Solar-Terrestrial Physics). URL: <https://www.ru.iszf.irk.ru> (Date of access: 05.01.2019). Text: electronic.
4. Potemkina T. G. *Tretie vinogradovskie chteniya. Grani gidrologii: sbornik dokladov* (Third Vinogradov's readings. Edges of Hydrology: collected reports), 2018, pp. 624–626.
5. Sinyukovich V. N., Latysheva I. V., Makukhin V. L. *Geografiya i prirodnye resursy* (Geography and Natural Resources), 2019, no. 3, pp. 60–67.
6. *Ekologicheskiy atlas basseyna ozera Baykal* (Ecological atlas of the Baikal basin). Irkutsk: Publishing House of the Institute named after V. B. Sochava, 2015. 145 p.
7. Earth (Earth). URL: <https://www.earth.nullschool.net/en> (Date of access: 05.02.2019). Text: electronic.
8. Liu D. W., Abuduwalli J., Lei J. Q., Wu G. *Water, Air and Soil Pollution* (Water, Air and Soil Pollution), 2011, vol. 218, no. 1–4, pp. 175–184.
9. Sun G. Y. *Advance in Earth Sciences* (Advance in Earth Sciences), 2000, vol. 15, no. 6, pp. 666–672.
10. Yuan Y., Zeng G., Liang J., Huang L., Hua Sh., Li F., Zhu Y., Wu H., Liu J., He X., He Y. *Journal of Hydrology* (Journal of Hydrology), 2015, vol. 525, pp. 450–456.

Коротко об авторах

Вологжина Саяна Жамсараповна, канд. геогр. наук, декан географического факультета, Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия. Область научных интересов: загрязнение атмосферного воздуха, потенциал самоочищения атмосферы, Байкальский регион, экологический туризм, особо охраняемые природные территории
svologzhina@gmail.com

Латышева Инна Валентиновна, канд. геогр. наук, и. о. зав. кафедрой метеорологии и физики околосолнечного космического пространства, Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия. Область научных интересов: климат, атмосферная циркуляция, погодные аномалии, самоочищение атмосферы, Байкальский регион
ababab1967@mail.ru

Латышев Сергей Вячеславович, и. о. зав. Саянской солнечной обсерватории, Ордена Трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия. Область научных интересов: физика Солнца, гидромагнитное динамо Солнца, климат горных районов, атмосферная циркуляция
srg.87@bk.ru

Лощенко Кристина Анатольевна, канд. геогр. наук, доцент кафедры метеорологии и физики околосолнечного космического пространства, Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия. Область научных интересов: региональная атмосферная циркуляция, изменения климата, взаимодействие атмосферы и океана, комическая метеорология
loshchenko@bk.ru

Олемской Сергей Владимирович, д-р физ.-мат. наук, первый заместитель директора, Ордена Трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики СО РАН; профессор кафедры метеорологии и физики околосолнечного космического пространства, Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия. Область научных интересов: физика Солнца, гидромагнитное динамо Солнца и звезд солнечного типа
olemskoy@mail.ru

Briefly about the authors

Saiana Vologzhina, candidate of geographical sciences, dean of geographical faculty, Irkutsk State University, Irkutsk, Russia. Sphere of scientific interests: air pollution, potential of air self-purification, modeling, Baikal region, ecological tourism, especially protected natural territory

Inna Latysheva, candidate of geographical sciences, acting head of Meteorology and Near-Earth Space Physics department, Irkutsk State University, Irkutsk, Russia. Sphere of scientific interests: climate, atmospheric circulation, weather anomalies, self-cleaning of the atmosphere, Baikal region

Sergey Latyshev, acting head of the Sayan Solar Observatory, Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia. Sphere of scientific interests: physics of the Sun, hydromagnetic dynamo of the Sun, climate of mountainous regions, atmospheric circulation

Kristina Loschenko, candidate of geographical sciences, associate professor, Meteorology and Near-Earth Space Physics department, Irkutsk State University, Irkutsk, Russia. Sphere of scientific interests: regional atmospheric circulation, climate change, interaction of atmosphere and ocean, comic meteorology

Sergey Olemskoy, doctor of physic and mathematical sciences, professor, Meteorology and Near-Earth Space Physics department, Irkutsk State University, First Deputy Director of the Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia. Sphere of scientific interests: physics of the Sun, hydromagnetic dynamo of the Sun and stars of the solar type

Образец цитирования

Вологжина С. Ж., Латышева И. В., Латышев С. В., Лощенко К. А., Олемской С. В. Мезомасштабные особенности климатических изменений на побережье оз. Байкал // Вестник Забайкальского государственного университета. 2019. Т. 25, № 8. С. 6–13. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-8-6-13.

Vologzhina S., Latysheva I., Latyshev S., Loshchenko K., Olemskoi S. Mesoscale features of climatic change on the coast of the Lake Baikal // Transbaikal State University Journal, 2019, vol. 25, no. 8, pp. 6–13. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-8-6-13.

Статья поступила в редакцию: 15.04.2019 г.
Статья принята к публикации: 14.10.2019 г.