

УДК 551.58(571.150)

*Н.С. Малыгина, А.Г. Зяблицкая, Н.К. Кононова,  
Т.В. Барляева, О.В. Останин, Т.С. Папина*

**Макроциркуляционные процессы  
и атмосферные осадки в Алтайском регионе**

*N.S. Malygina, A.G. Zyablitskaya, N.K. Kononova,  
T.V. Barlyayeva, O.V. Ostanin, T.S. Papina*

**Macro-circulation Processes and Precipitation  
in the Altai Region**

На основе суточных данных количества выпавших атмосферных осадков по 13 метеостанциям Алтайского региона и «Календаря последовательной смены элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ)» (по Б.Л. Дзердзеевскому) идентифицированы макроциркуляционные процессы, определяющие поступление осадков на территорию Алтайского региона за период 1981–2011 гг. Максимальный вклад в поступление осадков внес ЭЦМ 13л, при котором на каждой метеостанции было зафиксировано более 20% выпавших осадков. При этом ЭЦМ для Алтайского региона характерны выходы южных циклонов, приносящие основные осадки, которые проходят над Арало-Каспийской территорией. Полученные результаты расчетов хорошо согласуются с литературными данными в предположении, что юго-западным циклонам соответствуют только ЭЦМ 13л, а все остальные 40 ЭЦМ соответствуют оставшимся семи типам макроциркуляционных процессов. Предложенный нами метод идентификации макроциркуляционных процессов, обуславливающих поступление и выпадение осадков в регионе, может быть использован для различных целей, например, для определения основных источников поступления биообъектов на поверхность ледников Алтая.

**Ключевые слова:** осадки, макроциркуляционные процессы, Алтайский регион.

**DOI 10.14258/izvasu(2014)3.1-27**

В пятом докладе I Рабочей группы МГЭИК [1], принятом 27 сентября 2013 г. в Стокгольме, большое внимание уделяется изучению региональных климатических изменений. Так, в главе 10 «Выявление и объяснение климатических изменений: от глобальных к региональным» показана необходимость четкого понимания, что изменения в атмосферной циркуляции могут по-разному влиять на изменения климата в каждом конкретном регионе. Это положение подтверждается минимальными и максимальными значениями прогнозов для SREX регионов [2, с. 338–339], полученных с по-

We identify the macro-circulation processes, controlling precipitation in the Altai region from 1981 to 2011, on the basis of daily data precipitation from 13 Altai weather stations and «Calendar of sequential change elementary circulation mechanisms (ECM)» (developed B.L. Dzerdzeevskii). The maximal contribution to precipitation during the studied period came from the 13s ECM which contributed more than 20% of precipitation at each weather station. That ECM in the Altai region features the appearance of southern cyclones coming from the Aral-Caspian region, which bring the major precipitation. The obtained estimation results have a good agreement with the published data assuming that the southwestern cyclones correspond only to the 13s ECM, whereas all other 40 types of ECM correspond to 7 macro-circulation processes. The proposed approach to the identification of macro-circulation processes, responsible for precipitation in the region, can have wide applicability. For instance, it can be used to identify the main sources of biological objects on the surface of the Altai glaciers.

**Key words:** precipitation, macro-circulation processes, the Altai region.

мощью глобальной модели CMIP 5 (набор проекций 42 моделей для сценария RCP4.5), опубликованных в главе 14 «Климатические явления и их актуальность для будущего изменения регионального климата». Согласно представленным прогнозам к 2035 г. максимальные температурные изменения в высоких широтах (+3 °C) будут достигнуты и на азиатской территории России, при этом сумма осадков увеличится на 18%. Данные изменения могут произойти раньше в предгорных и горных районах указанной территории [1]. В этой связи изучение изменений макроциркуляционных процессов

и оценка их вклада в изменение климата региона являются актуальнейшими задачами.

Наиболее перспективной территорией для проведения исследований в этом направлении является Алтайский регион, протянувшись с северо-запада на юго-восток более чем на 900 км [3, с. 32]. Алтайский регион является значительным орографическим барьером на территории Евразии и включает в себя равнины, предгорья и горы, для которых характерны контрастные климатические условия [4, с. 23].

В настоящее время существует значительное количество классификаций циркуляционных процессов как глобального, так и регионального масштаба [5, с. 110–117; 6, с. 27–32]. Среди этих классификаций особо можно выделить классификацию циркуляционных механизмов Б.Л. Дзердзеевского, которая разработана для всего Северного полушария, но при этом довольно детально описывает ежедневную смену циркуляционных условий в конкретном регионе. Данная классификация основана на учете количества и направлений арктических вторжений (блокирующих процессов) и выходов южных циклонов, а также на изменениях характера циркуляции атмосферы в Арктике. Выделенные 41 подтип (элементарный циркуляционный механизм — ЭЦМ), который является основной единицей типизации, систематизиро-

ваны в 13 типов, которые, в свою очередь, делятся на четыре группы [7, с. 13]. Ежедневные синоптические карты и карты барической топографии служат фактической основой для выделения ЭЦМ и в то же время содержат в себе косвенную информацию о потоках влаги в атмосфере, поэтому через смену структур ЭЦМ можно проследить и циркуляционные условия выпадения атмосферных осадков.

Основываясь на ранее предложенных подходах, позволяющих оценить влияние макроциркуляционных процессов на изменения режима атмосферных осадков Алтайского региона [8, с. 25–33; 9, с. 183–185; 10, с. 8–17; 11, с. 535–554; 12, с. 637–651; 13, с. 275–289], мы провели расчеты, которые учитывали как число дней с тем или иным типом ЭЦМ, так и число дней с осадками при этих типах ЭЦМ.

В качестве исходных данных был взят «Календарь последовательной смены ЭЦМ» [14] за последние 30 лет, когда наблюдались наиболее интенсивные климатические изменения в Алтайском регионе [15, с. 598], а также суточные данные количества выпавших осадков ( $> 0,1$  мм) по 13 метеостанциям (рис. 1) [16]. Для рассматриваемого временного интервала (1981–2011 гг.) по классификации Б.Л. Дзердзеевского выделена «Зональная эпоха» для Сибирского сектора [14].



Рис. 1. Основные метеостанции Алтайского региона

Результаты наших расчетов показали наличие несоответствия числа дней с осадками при определенном типе ЭЦМ общему числу дней, когда наблюдался этот ЭЦМ. Полученные значения варьируют от станции к станции и от одного типа ЭЦМ к другому. Так, по данным метеостанции Кара-Тюрек, минимальные расхождения составляли 28,0% (ЭЦМ 5в), а максимальные — 62,7% (ЭЦМ 2в).

Полученные результаты позволили нам предложить иной подход для оценки макроциркуляционных процессов, определяющих поступление осадков в изучаемый регион. Суть предложенного заключается в следующем. В качестве исходных используются суточные данные (в отличие от других подходов, использующих месячные данные [17, с. 51]) по количеству осадков, выпавших на метеостанци-

ях исследуемого региона, и «Календарь последовательной смены ЭЦМ» с ежедневным разрешением. Исходные данные выстраиваются в параллельные ряды по временному признаку (соответствию дат), при этом проводится дополнительная верификация соответствия исходных данных и данных, подготовленных для анализа. На следующем этапе производится расчет суммы ежедневных осадков (в мм), выпадающих при каждом из 41 ЭЦМ за исследуемый период, а затем на основе полученных расчетных результатов вычисляется процентное распределение осадков по типам ЭЦМ [18; 19, с. 2403–2409]. По предложенному алгоритму был произведен расчет вклада различных типов макроциркуляционных процессов в поступление осадков на территорию Алтайского региона (табл. 1).

Таблица 1

Процентный вклад макроциркуляционных процессов (свыше 3%) в общее количество осадков, по данным метеостанций Алтайского региона за 1981–2011 гг.

Станция \ ЭЦМ	3	6	8а	9а	10а	10б	12а	12бз	12бл	13з	13л
Барнаул	2,4	3,0	3,1	5,5	3,3	4,2	8,0	2,3	3,3	9,0	21,0
Бийск – Зональное	3,0	2,2	3,0	5,5	3,7	3,4	8,8	2,5	3,1	10,4	20,1
Змеиногорск	3,1	2,0	2,4	5,1	3,1	2,8	7,1	3,4	3,3	12,1	20,5
Камень-на-Оби	2,4	2,9	2,8	5,7	2,9	3,7	8,1	2,4	3,3	9,5	24,7
Кара-Тюрек	3,4	2,9	2,4	6,3	2,6	4,2	9,5	1,5	4,3	7,9	25,0
Кош-Агач	3,0	3,2	1,9	5,3	2,1	4,5	6,0	0,8	5,4	4,8	34,8
Кызыл-Озек	3,1	2,3	2,6	6,9	3,1	3,9	9,6	1,7	3,5	8,1	23,6
Славгород	2,5	2,4	2,9	5,5	3,3	3,3	7,2	2,4	3,3	8,6	25,0
Солонешное	3,3	2,9	2,6	6,7	2,9	4,0	10,0	2,0	3,4	7,3	25,4
Ребриха	3,2	2,7	2,5	6,0	3,4	3,7	8,2	2,4	3,0	8,8	23,5
Рубцовск	2,6	2,5	2,5	6,1	3,5	3,7	7,2	2,4	3,6	8,7	25,0
Усть-Кокса	3,4	2,7	2,7	7,1	2,5	4,4	9,4	1,3	3,5	7,2	26,6
Яйлю	3,2	0,5	2,7	7,0	3,0	4,5	9,4	1,5	3,7	6,2	25,1

Результаты расчетов показали, что максимальный вклад в поступление осадков на территорию Алтайского региона за последние годы дал ЭЦМ 13л, при котором характерны выходы южных циклонов, проходящих по территории Арало-Каспийского региона (рис. 2). Для верификации основных районов поступлений осадков с помощью модели HYSPLIT были рассчитаны обратные траектории воздушных масс для дат, когда отмечались осадки при ЭЦМ 13л. Полученные на основе данных реанализа траектории движения на высотах 1500, 3000 и 5000 м для 13 июля 1988 г. [20] показали путь перемещения частиц с территории Арало-Каспия на Алтай (конеч-

ная точка — метеостанция Кара-Тюрек) в течение 72 часов (рис. 3).

Результаты наших расчетов, позволившие определить основные типы макроциркуляционных процессов, обуславливающих выпадение осадков в изучаемом регионе, сопоставлены с литературными данными (табл. 2). Для этого была принята следующая условность: предполагалось, что юго-западным циклонам [17, с. 53] соответствуют только ЭЦМ 13л, а все остальные 40 ЭЦМ соответствуют семи типам макроциркуляционных процессов, описанных в работе [17, с. 53]. Принимая во внимание данное положение, мы получили довольно высокую согласованность с литературными данными.

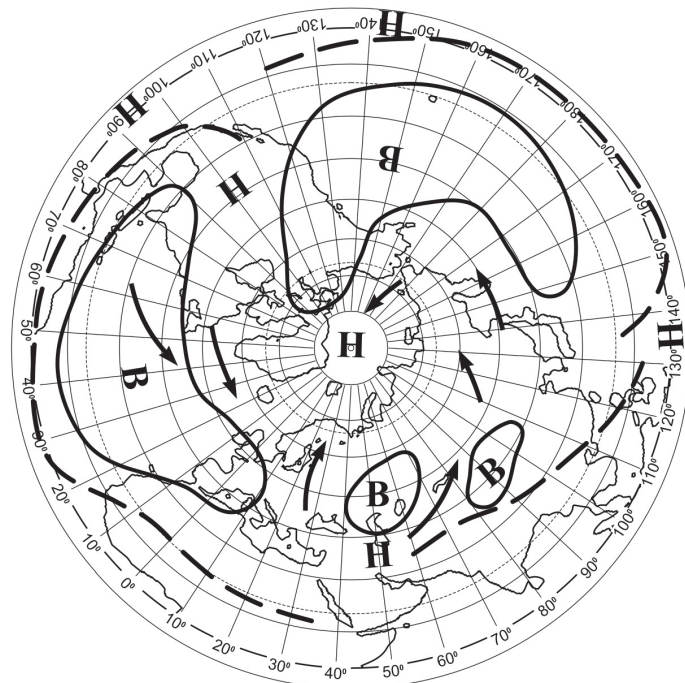


Рис. 2. Динамическая схема ЭЦМ 13л: стрелки — генерализованные траектории циклонов во внетропических широтах; пунктирная линия — внутритропическая зона конвергенции; Н и В — низкое и высокое давление; граница между областями высокого и низкого давления проведена по изолинии 1015 гПа

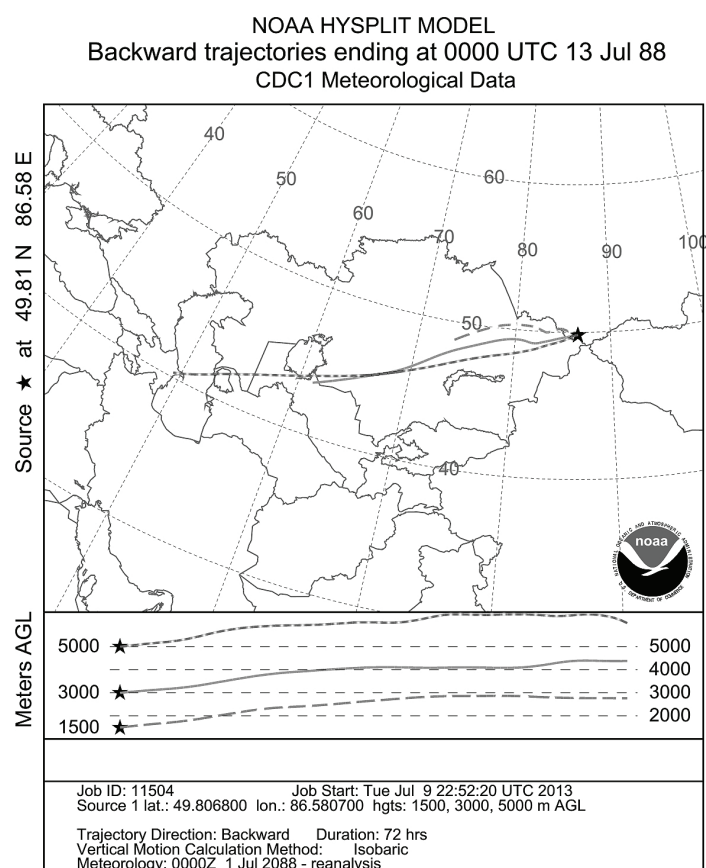


Рис. 3. Обратные траектории переноса частиц для 13 июля 1988 г. (на высотах 1500, 3000 и 5000 м), когда отмечалось выпадение осадков по данным метеостанции Кара-Тюрек при ЭЦМ 13л

Таблица 2

Сравнение вкладов различных макроциркуляционных процессов  
в поступление осадков на территорию Алтая по нашим и литературным данным, %

Циркуляционные процессы/механизмы	Источники влаги (по [17, с. 53])	1981(84)–2000	
		[17, с. 53]	Наши результаты
Юго-западные циклоны / ЭЦМ 13 л	Центральная Азия	33±8	28±2
Западные циклоны, ультраполярные вторжения и т.д. / (40 подтипов ЭЦМ)	Океаны	67±7	72±2

Предложенный нами подход идентификации макроциркуляционных процессов, контролирующих поступление осадков в изучаемый регион, является реалистичным, так как учитывает все многообразие ЭЦМ в регионе, описанное 41 подтипом, а не восемью типами [17, с. 53]. При этом для расчетов используются не месячные, а суточные данные по осадкам, что дает возможность более детально представлять картину поступления осадков при различных макроциркуляционных процессах. Относительно нетрудоем-

кий подход позволяет производить подобные оценки для любого региона Северного полушария, в отличие от работ В. Айзена, где в основе анализа лежат макроциркуляционные процессы, идентифицированные только для Центральной Азии. Обоснованный нами подход идентификации макроциркуляционных процессов, обуславливающих поступление осадков в регион, может быть использован для различных целей, например, для определения основных источников поступления биообъектов на ледники Алтая [19, с. 2409].

## Библиографический список

1. IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/#.UueMGxBIUk>.
2. Seneviratne S.I. Historical drought trends revisited // Nature. — 2012. — № 491.
3. Егорина А.В. Барьерный фактор в развитии природной среды гор : монография. — Барнаул, 2003.
4. Первый географический БЭС. — М., 2007.
5. Huth R., Beck C., Philipp A., Demuzere M. et. al. Classifications of atmospheric circulation patterns: recent advances and applications // Ann. NY Acad. Sci. — 2008. — № 1146.
6. Stanojević G. The classifications of atmospheric circulation // Jovan Cvijić, SANU. — 2010. — № 60, br. 2.
7. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзерджеевскому. — М., 2009.
8. Попова К.И. Барико-циркуляционный режим атмосферы над Алтаем // Гляциология Алтая. — 1978. — № 10.
9. Нарожный Ю.К., Нарожная О.В., Попова К.И. Циркуляционный режим и гидрометеорологические условия зим Алтая // Гляциология Алтая. — 1993. — № 19.
10. Субботина О.И. Атмосферная циркуляция // Изменение климата в Центральной Азии. — Ташкент, 1995.
11. Aizen E.M., Aizen V.B., Melack J.M. et. al. Precipitation and Atmospheric Circulation Patterns at Mid-Latitudes of Asia // International Journal of Climate. — 2001. — № 21.
12. Aizen V.B., Aizen E.M., Fujita K. et. al. Stable-isotope time series and precipitation origin from firn cores and snow samples, Altai glaciers, Siberia // Journal of Glaciology. — 2005. — V. 51, № 175.
13. Aizen V.B., Mayewski P.A., Aizen E.M. et. al. Stable-Isotope and Chemical Time Series from Fedchenko Glacier Firn Core (Pamir) // Journal of Glaciology. — 2009. — V. 55, № 190.
14. Колебания циркуляции атмосферы Северного полушария в XX — начале XXI века [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.atmospheric-circulation.ru>.
15. Bezuglova N.N., Zinchenko G.S., Malygina N.S. et. al. Response of high-mountain Altai thermal regime to climate global warming of recent decades // Journal Theoretical and Applied Climatology. — 2012. — V. 110, Is. 4.
16. Специализированные массивы для метеорологических исследований [Электронный ресурс]. — URL: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR>.
17. Aizen V.B., Aizen E.M., Joswiak D.R. et. al. Climatic and atmospheric circulation pattern variability from ice-core isotope/geochemistry records (Altai, Tien Shan and Tibet) // Annals of Glaciology. — 2006. — V. 43.
18. Malygina N., Papina T. Investigation of atmospheric circulation patterns and precipitation variability for interpretation of the Altai ice core records // DACA-2013, Davos (Switzerland) [Электронный ресурс]. — URL: [http://www.daca-13.org/wsl/daca13/program/DACA-13\\_Abstract\\_Proceedings.pdf](http://www.daca-13.org/wsl/daca13/program/DACA-13_Abstract_Proceedings.pdf).
19. Papina T., Blyakharchuk T., Eichler A. et. al. Biological proxies recorded in a Belukha ice core, Russian Altai // Climate of the Past. — 2013. — № 9.
20. Air Resources Laboratory — HYSPLIT — Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model [Электронный ресурс]. — URL: <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>.