

УДК 551.51

## Русский и Монгольский Алтай: особенности макроциркуляционных процессов, обеспечивающих атмосферные осадки в последнее тридцатилетие

*Н.С. Малыгина<sup>1</sup>, Т.В. Барляева<sup>2</sup>, А.Г. Зяблицкая<sup>3</sup>, Н.К. Кононова<sup>4</sup>, Д. Отгонбаяр<sup>5</sup>, О.В. Останин<sup>3</sup>, Т.С. Папина<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Институт водных и экологических проблем СО РАН (Барнаул, Россия)

<sup>2</sup> Университет Экс-Марсель (Марсель, Франция)

<sup>3</sup> Алтайский государственный университет (Барнаул, Россия)

<sup>4</sup> Институт географии РАН (Москва, Россия)

<sup>5</sup> Ховдский государственный университет (Ховд, Монголия)

## Russian and Mongolian Altai: Peculiarities of the Macro-circulation Processes that Provide Precipitation in the Last Three Decades

*N.S. Malygina<sup>1</sup>, T.V. Barlyaeva<sup>2</sup>, A.G. Zyablitskaya<sup>3</sup>, N.K. Kononova<sup>4</sup>, D. Otgonbayar<sup>5</sup>, O.V. Ostanin<sup>3</sup>, T.S. Papina<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Barnaul, Russia)

<sup>2</sup> Aix-Marseille University (Marseille, France)

<sup>3</sup> Altai State University (Barnaul, Russia)

<sup>4</sup> Institute of Geography, Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

<sup>5</sup> Khovd State University (Khovd, Mongolia)

На основе суточных данных по количеству выпавших осадков в Русском и Монгольском Алтае (7 метеорологических станций) и данных «Календаря последовательной смены элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ)» (по Б.Л. Дзердзеевскому) определены основные макроциркуляционные процессы, обеспечивающие атмосферные осадки последнего тридцатилетия (1981–2011 гг.). В рассматриваемом временном периоде дополнительно выделены два временных интервала, отвечающие смене знака тенденций климатических изменений на рубеже тысячелетий. В 1981–2000 гг. на территории Русского Алтая основное количество осадков было обеспечено ЭЦМ 13л — юго-западными циклонами. Однако в 2001–2011 гг. вклад этого ЭЦМ в среднем снизился на 8,36%, но при этом увеличился вклад ЭЦМ 12а — совместное влияние арктического антициклона и юго-западных циклонов. В Монгольском Алтае значения вкладов ЭЦМ 13л, 12а и 9а, по данным двух станций, разнятся на равное количество процентов (чуть более 8%), т.е. отмечается перераспределение вкладов ЭЦМ, обеспечивающих атмосферные осадки на севере Монгольского Алтая. Проведенный анализ структуры распределения осадков по типам ЭЦМ, обеспечивающих их поступление в изучаемый регион, позволил выделить четыре группы станций, имеющих схожие структуры распределения влияний ЭЦМ на поступление и выпадение осадков. На основании выявленного схожего

Using the daily data on precipitation in Russian and Mongolian Altai from 7 weather stations, as well as the data from «Calendar of sequential change elementary circulation mechanisms (ECM)» (developed by B.L. Dzerdzevskii), we found the principal microcirculation processes responsible for precipitation in that region during the last thirty years (1981–2011). This period is divided into two time intervals by the sign flip of the climate change tendency which happened around 2000. We showed that the precipitation in Russian Altai in 1981–2000 was mostly due to ECM 13s (south-western cyclones). However, in 2001–2011 the contribution of this type of ECM decreased in average on 8,36%, but at the same time the contribution of ECM 12a (combined influence of the Arctic anticyclone and southwestern cyclones) has increased. In Mongolian Altai the contributions of various ECMs 13s, 12a and 9a differ by about 8% which signifies a redistribution of relative contributions of the ECMs responsible for the precipitation in the North of Mongolian Altai. Our analysis allowed splitting the stations into 4 groups having similar distributions of the ECMs. Since Kosh-Agach (Russian Altai) and Ulgiy (Mongolian Altai) weather stations turn out to belong to the same group, it seems possible to use the Kosh-Agach station, providing the longest data set, to estimate the precipitation in the northern regions of Mongolian Altai.

распределения влияний ЭЦМ на поступление и выпадение атмосферных осадков в последнее десятилетие, по данным ГМС Кош-Агач (Русский Алтай) и Ульгий (Монгольский Алтай), представляется возможным использовать наиболее продолжительный ряд данных по ГМС Кош-Агач для оценок поступления осадков в северные районы Монгольского Алтая.

**Ключевые слова:** осадки, макроциркуляционные процессы, Русский и Монгольский Алтай.

**DOI 10.14258/izvasu(2014)3.2-22**

В настоящее время для получения достоверных оценок как текущего состояния климатической системы, так и прогнозов ее изменений используют метеорологическую информацию локального и регионального масштаба, а также дополнительно привлекают данные палеоклиматических реконструкций [1, с. 669–672; 2]. Основными источниками метеорологической информации являются данные Глобальной системы наблюдений за климатом, которая включает в себя климатические компоненты Глобальной системы наблюдений ВМО и Глобальной системы наблюдений за поверхностью суши, проводимых по различным программам [3]. Источниками палеоклиматической информации служат палеоархивы, имеющие разномасштабное пространственное и временное разрешение. По данным палеоархивов [4, с. 67–91; 5, с. 17; 6, с. 1791–1815; 7, с. 3107–3113], на протяжении последних столетий климат Земли существенно менялся, причем в различных регионах направленность и интенсивность этих изменений были не идентичны. Среди основных причин климатических изменений выделяют: изменения циркуляции атмосферы и океана, орбитальных параметров Земли, воздействие вулканизма и антропогенной деятельности, изменения концентрации CO<sub>2</sub> [6, с. 1802–1808]. Стоит отметить, что проведение исследований по оценке климатических изменений, а также их прогнозирование в горных регионах остаются довольно сложными, так как для горных территорий исходная информация зачастую лимитирована редкой сетью наблюдений, а метеорологические процессы (особенно циркуляционные), происходящие в горных регионах, более сложны по сравнению с равнинными территориями. В связи с этим проведение оценок влияния макроциркуляционных процессов на климатические изменения весьма актуально с учетом возможности использования этих оценок в климатических моделях различных уровней сложности.

Одним из перспективных районов для проведения исследований в данном направлении является Алтай, расположенный частично на территории Южной Сибири, частично — в центральной части Азии, на территории России, Казахстана, Монголии

**Key words:** precipitation, macro-circulation processes, Russian and Mongolian Altai.

и Китая, состоящий из системы сильно расчлененных горных хребтов, образующих водораздел рек Оби, Иртыша и Енисея [8, с. 23]. Отличительной чертой Алтая является преобладание отчетливой широтной зональности горных хребтов с доминированием в пределах Русского Алтая на северо-востоке субмеридиональной системы хребтов и на юго-востоке — субширотной, а в пределах Монгольского Алтая — колчатых (северо-западных) хребтов. В зоне перехода от Монгольского к Гобийскому Алтаю наблюдается их совмещение с субширотными горными системами, которые к югу принимают вновь субширотное расположение [9, с. 36]. Таким образом, наиболее разнонаправленное расположение хребтов характерно для Русского и Монгольского Алтая, территория которых будет служить основным регионом настоящих исследований.

Основываясь на ранее предложенном подходе определения основных типов макросиноптических процессов, контролирующих поступление и выпадение осадков в регионе [10], в настоящей работе в качестве исходных данных мы использовали «Календарь последовательной смены элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ)» [11] за последнее 30-летие (1981–2011 гг.), когда наблюдались наиболее интенсивные климатические изменения на Алтае [12, с. 598; 13, с. 198], а также суточные значения количества выпавших осадков (> 0,1 мм), по данным ГМС Русского и Монгольского Алтая (рис. 1) [14; 15]. Суть использованного подхода состоит в расчете количества осадков (%), выпадающих при том или ином типе циркуляции, за анализируемый период времени на исследуемой территории. Стоит отметить, что для территории Монгольского Алтая достаточно надежные суточные данные по количеству выпавших осадков имеются только за последние 11 лет.

В предыдущих работах [16] было показано, что ЭЦМ 13л (юго-западные циклоны) является одним из основных типов механизмов, контролирующих атмосферные осадки в Алтайском регионе в последнее 30-летие. Данный факт подтверждают семидневные обратные траектории движения воздушных масс, полученные с помощью модели HYSPLIT для 1990–2000 гг. [17, с. 2636].

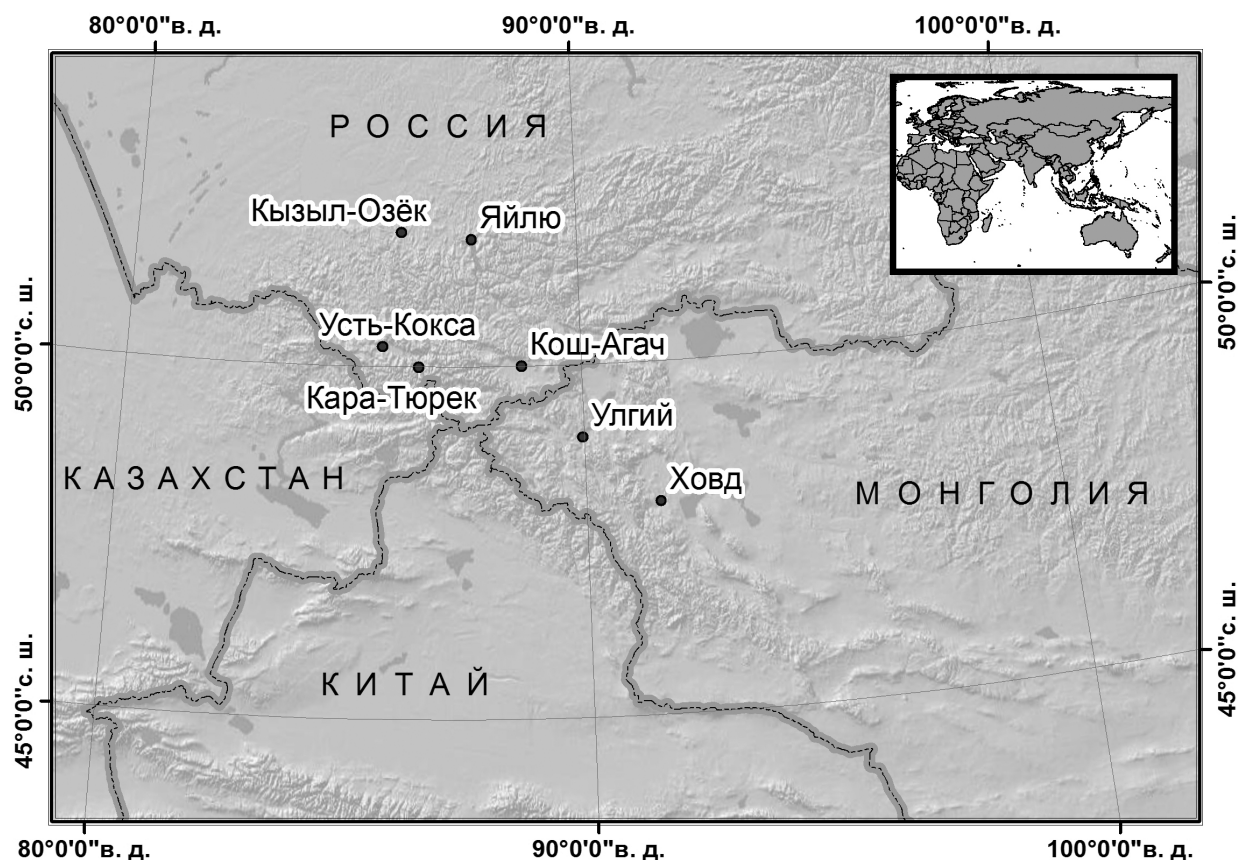


Рис. 1. Основные метеостанции Русского (Кара-Тюрек, Кош-Агач, Кызыл-Озек, Усть-Кокса и Яйлю) и Монгольского (Ульгий и Ховд) Алтая

Как известно [2], в конце 1990-х — начале 2000-х гг. во многих регионах мира произошла кардинальная смена тенденций климатических изменений. Подобные изменения наблюдались и на Алтае [12, с. 598; 13, с. 198]. В связи с этим рассматриваемый период был разделен на два интервала: 1981–2000 и 2001–2011 гг., при этом второй интервал точно совпадает с периодом, для которого имеются суточные данные по количеству выпавших в Монгольском Алтае осадков.

Для выделенных временных интервалов рассчитан процентный вклад различных типов ЭЦМ, обе-

спечивающих осадки в Русском (табл.) и Монгольском Алтае. При сравнении вклада ЭЦМ 13л в поступление и выпадение осадков на территории Русского Алтая в 1981–2000 и 2001–2011 гг. получены существенные различия для анализируемых временных интервалов, в среднем составляющие 8,36% и достигающие в Кош-Агаче 11,79%. Другими словами, вклад ЭЦМ 13л в последнее десятилетие существенно снизился относительно периода 1980–2000-х гг. Однако вклад ЭЦМ 12а в 2000-х гг. возрос на 10,68–13,35%, т.е. произошло перераспределение выпадающих осадков между ЭЦМ 13л и 12а.

Процентный вклад макроциркуляционных процессов (свыше 3%) в общее количество осадков, по данным метеостанций Русского Алтая в 1981–2000 гг. (I интервал) и 2001–2011 гг. (II интервал)

ЭЦМ ГМС	13 л		13з		12а		12бл		10б		9а	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Кара-Тюрек	27,74	19,18	7,58	8,23	5,06	18,41	4,27	6,52	4,20	4,93	5,09	8,06
Кош-Агач	38,73	26,94	4,19	6,00	2,36	13,04	5,43	10,73	4,48	5,78	3,98	7,98
Кызыл-Озек	25,39	20,43	8,00	8,15	5,57	16,84	4,47	3,87	3,85	3,20	5,16	10,00
Усть-Кокса	29,27	21,54	7,28	7,09	5,40	16,98	3,50	5,27	4,40	4,93	6,30	8,49
Яйлю	28,12	19,33	6,32	5,96	5,68	16,43	3,67	5,31	4,55	4,28	4,90	11,06





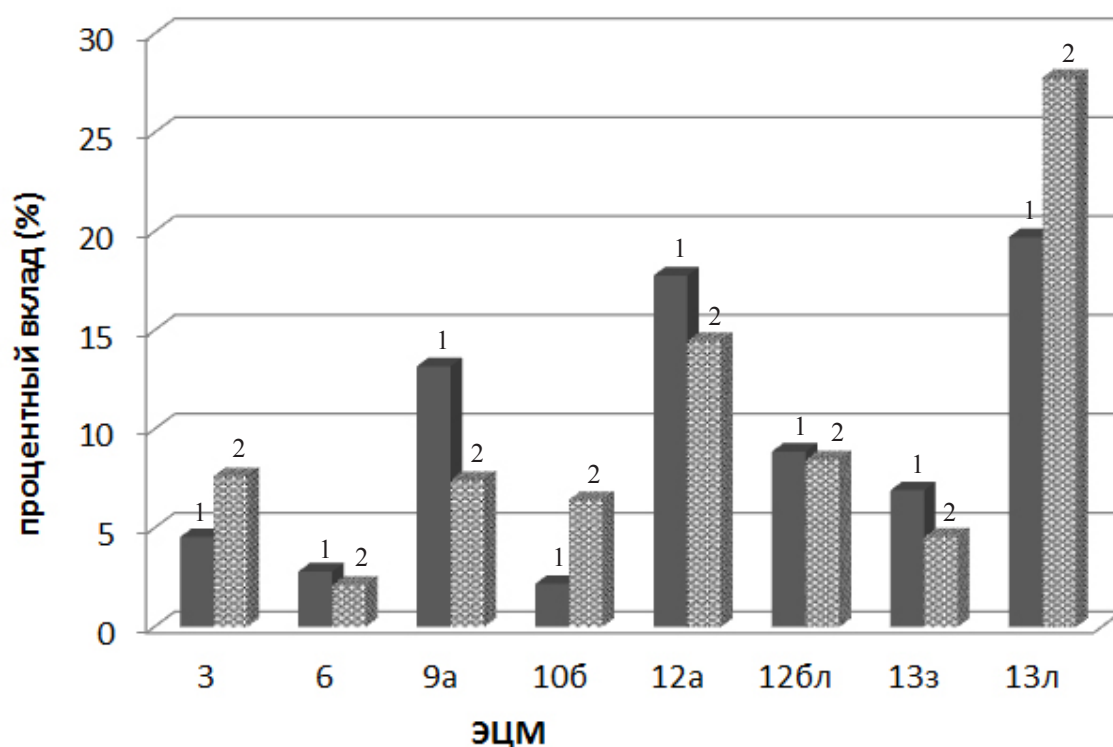


Рис. 3. Процентный вклад макроциркуляционных процессов (свыше 3%) в общее количество осадков, по данным ГМС Ховд (1) и Ульгий (2), в 2001–2011 гг.

При сравнении вклада макроциркуляционных процессов, приносящих осадки на территорию Русского и Монгольского Алтая в последнее десятилетие, выявлено, что вклад ЭЦМ 13л превалирует, однако разница

его значений по станциям достигает 10%. При типах ЭЦМ 12a и 9a также поступает значительное количество осадков (более 5%), однако разница их вклада по станциям составляет около 5% (рис. 4).

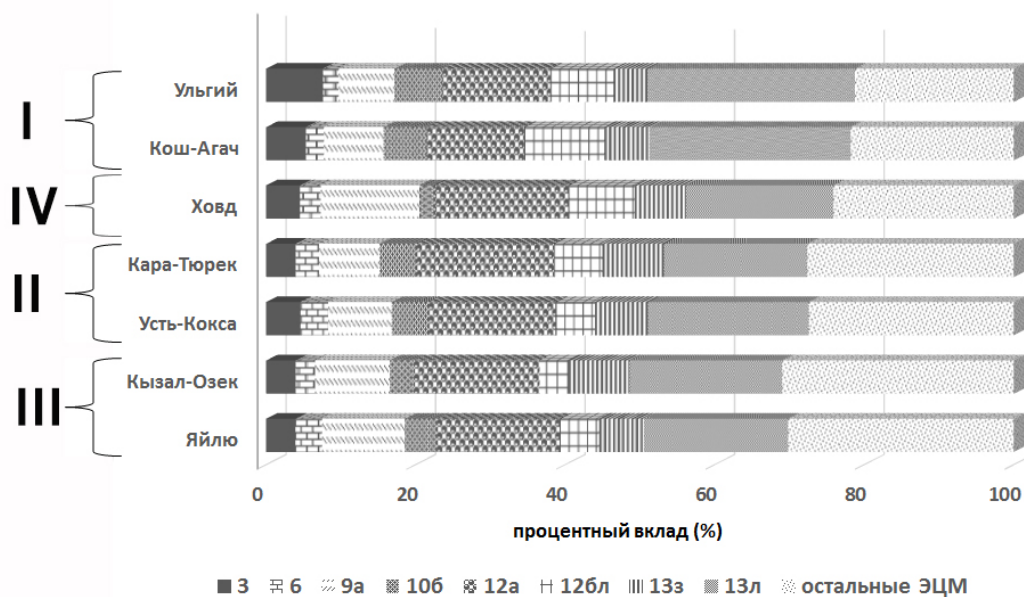


Рис. 4. Процентный вклад макроциркуляционных процессов (свыше 3%) в общее количество осадков, по данным ГМС Русского и Монгольского Алтая, в 2001–2011 гг.

Дополнительно нами проведен анализ структуры распределения осадков по типам ЭЦМ, обуславливающих их выпадение, что позволило выделить четыре группы ГМС. К I группе относятся ГМС Ульгий и Кош-Агач, для которых характерно существенное превалирование ЭЦМ 13л (около 27%). Во II группу входят Кара-Тюрек и Усть-Кокса с заметно меньшим процентным вкладом ЭЦМ 13л в количество осадков, но возрастающим значением вклада ЭЦМ 12а. К III группе относятся ГМС Кызыл-Озек и Яйлю с относительно средними значениями вкладов ЭЦМ при сравнении с данными двух предыдущих групп. Распределение вклада ЭЦМ в поступление и выпадение осадков по данным на ГМС Ховд отличается от вышеозначенных групп, что не позволило данные по этой ГМС отнести к какой-либо группе, и поэтому была выделена IV группа.

Таким образом, проведенные исследования показали, что в течение последнего 30-летия произошло перераспределение влияния различных типов ЭЦМ,

обуславливающих выпадение осадков в Русском и Монгольском Алтае. Оно проявляется в снижении доли юго-западных циклонов (ЭЦМ 13л), приходящих в том числе через Арало-Каспийский регион, и в увеличении вклада совместного влияния арктического антициклона и юго-западных циклонов при типе ЭЦМ 12а. Распределение вкладов ЭЦМ по метеорологическим станциям внутри анализируемого периода позволило их объединить в четыре группы, при этом ГМС Кош-Агач и Ульгий отнесены к одной группе, несмотря на то, что территориально они относятся к Русскому и Монгольскому Алтаю соответственно. Вследствие аналогичного распределения основных типов ЭЦМ, обеспечивающих поступление и выпадение осадков в последнее десятилетие на ГМС Кош-Агач и Ульгий, представляется возможным использовать наиболее продолжительный ряд данных по ГМС Кош-Агач для оценок поступления осадков в северные районы Монгольского Алтая.

## Библиографический список

1. Vrac M., Marbaix P., Paillard D., Caveau P. Non-linear statistical downscaling of present and LGM precipitation and temperatures over Europe // *Clim Past*. — 2007. — № 3.
2. IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.
3. GOSIC — Global Observing Systems Information Center [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/index.php?name=ObservingSystemsandData#surface>.
4. Lamb H.H. Climate history and modern world. — L., 2005.
5. Grove J.M. The Little Ice Age. — L., 1988.
6. Wanner H., Beer J., Bütikofer J. et al. Mid- to late Holocene climate change: an overview // *Quat Sci Rev*. — 2009. — № 27.
7. Wanner H., Solomina O., Grosjean M. et al. Structure and origin of Holocene cold events // *Quaternary Science Reviews*. — 2011. — № 30.
8. Первый географический БЭС. — М., 2007.
9. Егорина А.В. Барьерный фактор в развитии природной среды гор : монография. — Барнаул, 2003.
10. 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](http://www.daca-13.org/wsl/daca13/program/DACA-13_Abstract_Proceedings).
11. Колебания циркуляции атмосферы Северного полушария в XX — начале XXI века [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.atmospheric-circulation.ru>.
12. 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.
13. Политова Н.Г., Сухова М.Г., Жилина Т.Н. Изменение показателей температурно-влажностного режима приземной атмосферы и реакция горных экосистем // *Вестник Томс. гос. ун-та*. — 2013. — № 371.
14. Специализированные массивы для метеорологических исследований [Электронный ресурс]. — URL: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR>.
15. Ежегодные справочники по климату Ховдского аймака 2001–2011 гг. — Барнаул, 2001–2011.
16. Малыгина Н.С., Зяблицкая А.Г., Кононова Н.К. и др. Макроциркуляционные процессы и осадки в Алтайском регионе // *Известия Алт. гос. ун-та*. — 2014. — № 3.
17. Eichler A., Tobler L., Eyrikh S. et al. Ice-Core Based Assessment of Historical Anthropogenic Heavy Metal (Cd, Cu, Sb, Zn) Emissions in the Soviet Union // *Environmental Science and Technology*. — 2014. — № 48.
18. Air Resources Laboratory — HYSPLIT — Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model [Электронный ресурс]. — URL: <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>.