

УДК 551.582.2

Основные режимы выпадения осадков на юге Восточной Сибири и в Монголии в июле

О.Ю. Антохина¹, П.Н. Антохин¹, Е.В. Девятова²,
Ю.В. Мартынова^{3,4}, В.И. Мордвинов^{2,5*}

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

²Институт солнечно-земной физики СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 126а

³Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН
634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3

⁴Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт
630099, г. Новосибирск, ул. Советская, 30

⁵Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1

Поступила в редакцию 28.11.2017 г.

Исследованы основные моды изменчивости поля осадков над Монголией и югом Восточной Сибири в июле. Используются данные об атмосферных осадках архива GPCC с 1979 по 2013 г. Выполнено разложение межгодовых вариаций поля июльских осадков по естественным ортогональным функциям (ЕОФ) для двух областей: «большой» (90–120° в.д.; 35–70° с.ш.) и «малой», охватывающей бассейн Селенги (96–110° в.д.; 46–54° с.ш.). Рассчитаны суммарные значения количества осадков, выпадавших в бассейне Селенги в июле. Согласно полученным оценкам первая и вторая ЕОФ (ЕОФ1 + ЕОФ2) в сумме выбирают 32,3 и 48,9% общей изменчивости для «большой» и «малой» областей соответственно.

Ключевые слова: атмосферные осадки, дипольные моды, оз. Байкал, р. Селенга, естественные ортогональные функции; precipitation, seesaw modes, Lake Baikal, the Selenga River, empirical orthogonal functions.

Введение

Климат отдельных районов складывается под влиянием большого числа факторов, среди которых значительная роль принадлежит атмосферным осадкам. В настоящее время исследование изменчивости атмосферных осадков — одна из главных задач как фундаментальной, так и прикладной климатологии. Особенно важны такие исследования для районов с повышенной чувствительностью к глобальным климатическим изменениям, в частности для областей, экосистемы которых тесно связаны с осадками, выпадающими в течение конкретного сезона, чаще всего летнего. Одним из таких районов является территория, охватывающая юг Восточной Сибири и Монголию [1–5]. Эта территория включает в себя бассейн р. Селенги — главного притока оз. Байкал.

Динамика количества осадков на рассматриваемой территории в некотором смысле уникальна. Несмотря на то что бассейн реки находится на северной окраине аридного пояса Азии (северная часть

Монголии, юг Восточной Сибири) на большом удалении от источников влаги, количество осадков, выпадающих на территории бассейна, велико. Осадки выпадают преимущественно летом, около 70% годовых сумм осадков приходится на июнь–август, в каждый из этих месяцев может выпасть до 90–100 мм осадков. В европейской части России лишь в немногих районах количество осадков достигает таких же значений [6]. Другой немаловажной особенностью региона являются существенные межгодовые и декадные колебания выпадающих осадков. За периодами с аномально высоким количеством осадков могут следовать засухи, и наоборот. Анализ карт распределения аномалий атмосферных осадков показал, что такие аномалии носят, как правило, крупномасштабный характер и охватывают большую часть бассейна Селенги [3, 6]. Чередование лет с различным количеством осадков приводит к чередованию многоводных и маловодных периодов стока Селенги, исследование и предсказание которых является важной задачей [1], особенно в условиях происходящих сейчас глобальных климатических изменений.

Известно, что осадки и сток в районах, для которых характерны сильные межгодовые и декадные колебания, плохо воспроизводятся в моделях общей циркуляции атмосферы из-за сложности и многофакторности осадкообразующих процессов [7]. Для

* Ольга Юрьевна Антохина (antokhina@iao.ru); Павел Николаевич Антохин (arp@iao.ru); Елена Викторовна Девятова (devyatova@iszf.irk.ru); Юлия Валерьевна Мартынова (FoxuJ13@gmail.com); Владимир Иванович Мордвинов (v_mordv@mail.iszf.irk.ru).

долгосрочных прогнозов приходится использовать статистические методы, основанные на выделении крупномасштабных особенностей циркуляции, с которыми можно было бы связать длительные тенденции в выпадении осадков на той или иной территории. В синоптическом представлении такими особенностями могут быть блокирующие процессы, которые чаще всего связывают с высокими долгоживущими антициклонами. В данной работе мы будем использовать алгоритм идентификации блокингов, ориентированный на поиск событий блокирований, обусловленных либо монополярными (омега), либо дипольными (Рекс) блокингами [8, 9].

Надо помнить, однако, что связь с блокингами, если таковая будет обнаружена, — лишь косвенный индикатор связанных с блокингами циклонических и фронтальных процессов. Действительно, сами по себе, по крайней мере в центральной своей части, блокирующие антициклоны, или гребни высокого давления, являются генераторами сухой погоды, но в сопряженных с ними холодных ложбинах могут формироваться отсеченные циклоны, приносящие обильные осадки [10]. Прохождение передней части холодных высотных ложбин над той или иной территорией сопровождается адвективно-динамическим падением давления, способствующим развитию конвекции. В Иркутской обл. с этими образованиями связано от 49 до 72% ливневых осадков [11]. Кроме того, над Восточной и Западной Сибирью циркуляция в южной части сопряженных ложбин (северовосточные направления переноса) способствует выходу южных циклонов (например, элементарные циркуляционные механизмы 4б, 4в и другие по типизации Дзердзеевского [12]), а еще дальше к востоку над территорией Монголии в область циклонической циркуляции может поступать теплый и влажный воздух восточно-тихоокеанского муссона [13–15].

Если рассматривать блокинги в качестве предикторов, то в качестве предиктантов естественно было бы выбрать характеристики пространственного распределения выпадения осадков в интересующем нас регионе. Одним из наиболее распространенных методов анализа динамики полей метеорологических величин является разложение на естественные ортогональные функции (ЕОФ) или, как его часто называют, метод главных компонент — Principal Component Analysis [16–18]. В климатических исследованиях разложения на ЕОФ часто используются, чтобы выявить преобладающие режимы пространственного распределения полей величин и их изменения со временем [17–20] (наиболее известный пример — Арктическая осцилляция). Разложение на ЕОФ является одним из наиболее эффективных методов «сжатия» информации, однако физической интерпретации ЕОФ препятствуют условия ортогональности базисных функций и некоррелированности их амплитуд, которым трудно дать физическое объяснение. Кроме того, базисные функции часто оказываются зависимыми от выбранного пространственного домена, что также усложняет их интерпретацию. Тем не менее даже при указанных ограничениях метод ЕОФ оказывается полезным при анализе

сложных многофакторных метеорологических процессов.

В работах [21, 22] с помощью анализа ЕОФ впервые выявлена преобладающая дипольная мода изменчивости атмосферных осадков в Монголии и Восточной Сибири (35–65° с.ш., 90–115° в.д.). Для объяснения этой моды предложена модель распространения волн Россби по двум траекториям: вдоль субтропического струйного течения и над севером Евразии. Взаимодействие этих волн или их чередование могли бы объяснить структуру первой ЕОФ. В нашей работе [23] мы высказываем другое предположение: дипольное колебание в интенсивности осадков может быть обусловлено дальними связями — особенностями атмосферного блокирования в умеренных широтах Северного полушария. При блокировании над Восточной Европой больше осадков выпадает в Восточной Сибири и меньше в Монголии, при блокировании над Восточной Сибирью аномалии осадков имеют противоположный знак. Это объяснение является, на наш взгляд, более обоснованным и легче проверяется на практике, так как блокинги гораздо проще идентифицировать, чем волны Россби. Блокинги могут быть тесно связаны с распространением волн Россби [24], однако мы в данной работе не будем затрагивать эту тему, а будем полагаться на результаты анализа блокирований, которые можно непосредственно наблюдать на синоптических картах.

Кроме блокирований над Европой и Восточной Сибирью, в работе [23] была показана важность учета блокирований в области 120–160° в.д. (Дальний Восток), с которыми, как оказалось, коррелирует выпадение осадков восточнее оз. Байкал. В бассейне Селенги осадки при этом выпадают не в монгольской, а в российской части бассейна, которая имеет меньшую площадь, но является столь же значимой для формирования стока.

Так как основная цель работы — выявление метеорологических факторов, влияющих на сток р. Селенги, в качестве объектов разложения на ЕОФ будут использованы распределения осадков на юге Восточной Сибири и в Монголии в июле. Результаты анализа мы будем интерпретировать с помощью накопленных к настоящему времени сведений о процессах формирования осадков в бассейне Селенги и их связи с крупномасштабными циркуляционными процессами над Евразией (см. [3, 6, 13, 23]).

Методика и данные

Для решения поставленной задачи мы использовали данные архива ГРСС [25] по атмосферным осадкам. Разложения на ЕОФ проводились в двух пространственных доменах: первый практически совпадает с областью, использованной в [21, 22]: 90–120° в.д., 35–70° с.ш. (далее мы будем обозначать ее как «большая область» — БО), вторая область включает только бассейн Селенги (96–110° в.д., 46–54° с.ш.) («малая область» — МО). Данные обрабатывались за период с 1979 по 2013 г. Значимость ЕОФ оценивалась двумя способами: по величине

собственных чисел (главных компонент) в разложении матрицы ковариаций, характеризующих долю дисперсии амплитуд ЕОФ в вариациях полей осадков за выбранный период, и на основании оценок тесноты связи между вариациями суммарного количества осадков в бассейне Селенги и вариациями амплитуд ЕОФ.

Результаты

На рис. 1 приведены диаграммы, показывающие долю вклада первых 12 ЕОФ в суммарные вариации полей осадков. Согласно полученным оценкам на две первые ЕОФ приходится 32,3 и 48,9% суммарной изменчивости для БО и МО соответственно. Поскольку вклад этих двух ЕОФ значительно выше вклада остальных мод в разложении, можно предположить, что режимы выпадения осадков, связанные с этими модами, описывают некие реально существующие механизмы.

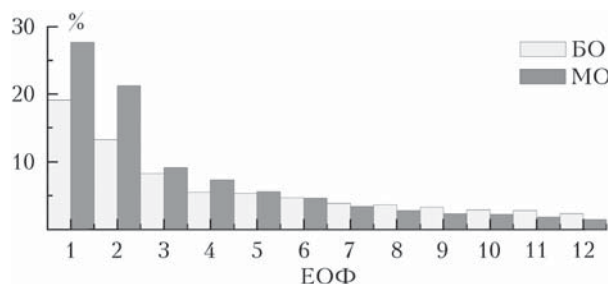


Рис. 1. Доля изменчивости полей осадков, приходящаяся на различные ЕОФ

На рис. 2 (цв. вкладка) приведены пространственные распределения первых двух ЕОФ для БО и МО. В обоих случаях первые ЕОФ в разложении достаточно похожи и демонстрируют дипольное колебание осадков в регионах Монголия – Восточная Сибирь (рис. 2, а, б). Границы между полюсами диполей проходят приблизительно по государственной границе между Монголией и Россией. Положительным значениям амплитуды диполей соответствует большое количество осадков над Монголией. Разумеется, границы между полюсами первой ЕОФ достаточно условны и не везде совпадают с границами бассейна Селенги, поэтому было бы очень интересно установить, каково же будет суммарное влияние этой моды на формирование осадков и стока в бассейне Селенги.

Вторая мода (рис. 2, в) для БО похожа на распределение коэффициентов корреляции изменчивости блокирований над Дальним Востоком и поля осадков [23]. Согласно [23] при блокировании в области 120–150° в.д. возрастает количество осадков в Забайкалье и уменьшается в Монголии. Бассейн р. Селенги в случае реализации этой моды оказывается в большей степени на периферии основных районов выпадения осадков. Основываясь на результатах работы [23], можно объяснить моды ЕОФ1 и ЕОФ2

в БО чередованием блокирований: положительная фаза ЕОФ1 соответствовала блокированию над Восточной Сибирью, отрицательная фаза ЕОФ1 – над Европой, положительная фаза ЕОФ2 – к востоку от Байкала.

В пределах малого домена больший вес в ЕОФ2 имеет российская часть бассейна Селенги (рис. 2, г). В какой-то степени можно считать ЕОФ2 МО частью ЕОФ2 БО, однако сходство между ними меньше, чем между ЕОФ1 в различных доменах. Режим, при котором большая часть осадков выпадает на российской территории бассейна, может быть обусловлен возникновением блокировок к востоку от оз. Байкал.

На рис. 3, а облака точек иллюстрируют результаты разложения полей осадков на ЕОФ1 и ЕОФ2 в БО и МО за период с 1979 по 2013 г. По осям координат отложены амплитуды ЕОФ. Результаты расчетов позволяют легко определить, какой из режимов выпадения осадков преобладал в тот или иной период времени. Напомним, что в бассейне Селенги большое количество осадков выпадает при положительных значениях ЕОФ1 и ЕОФ2, только в первом случае осадки выпадают в большей степени в Монголии, а во втором – в Бурятии. Видно, что одновременная реализация положительных амплитуд ЕОФ1 и ЕОФ2 – явление довольно редкое: для БО в эту зону попадают всего пять точек (рис. 3, а). Выделяется 2013 г., в который большие амплитуды имели и первая, и вторая моды. Видимо, циркуляция атмосферы в этот период была аномальной. Для других четырех лет высоким значениям одной компоненты соответствовали небольшие амплитуды другой. В МО довольно много точек попадает в квадрант («–/–»), для которого характерно отсутствие осадков как в российской, так и в монгольской частях бассейна Селенги (рис. 3, г).

Облака точек на рис. 3 (б, в, д, е) характеризуют зависимости между изменениями полного количества осадков в бассейне Селенги и амплитудами ЕОФ1 и ЕОФ2. В дополнение к анализу вклада первых двух ЕОФ (рис. 1) эти зависимости позволяют оценить степень влияния тех или иных ЕОФ на интегральные характеристики осадков в выбранном регионе. Влияние на суммарные осадки оказывает первая мода в разложении как для МО, так и для БО (рис. 3, б, д), а также вторая мода для МО (рис. 3, е). Вторая мода для БО и полное количество осадков в бассейне Селенги не имеют четко выраженной связи (рис. 3, в).

Для иллюстрации найденных связей в таблице приведены амплитуды ЕОФ1 и ЕОФ2 в периоды с большим и малым количеством суммарных осадков в бассейне Селенги. Видно, что положительные аномалии осадков в период 1979–2013 гг. в бассейне Селенги в шести случаях из десяти приходились на положительную фазу ЕОФ1, в двух случаях первая мода была значимо отрицательной и в двух случаях – близка к нулю. Для МО в четырех случаях из десяти осадки выпадали на всей территории бассейна, в трех – только в российской и в трех – только в монгольской части бассейна.

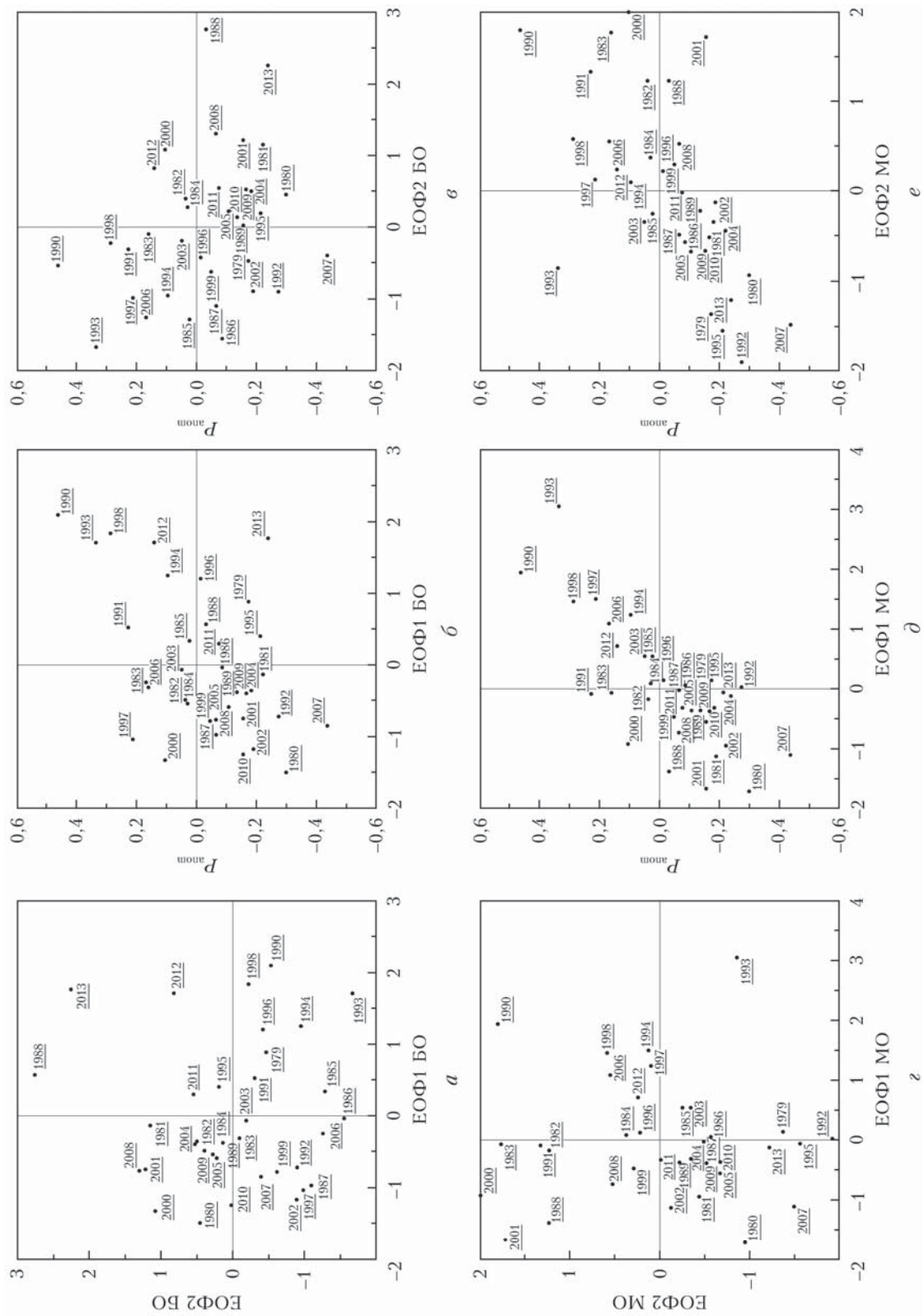


Рис. 3. Амплитуды первой и второй моды в разложении полей осадков на EOF (a, z), зависимости суммарного количества осадков ($P_{аном}$) (отклонения от нормы 1950–1990 гг.) в бассейне Селенги от амплитуд EOF1 (b, d) и EOF2 (e, e) для БО и МО соответственно

Амплитуды ЕОФ1 и ЕОФ2 в БО и МО для 10 лет с наибольшими положительными и 10 лет с наибольшими отрицательными аномалиями осадков (АО) в июле (относительно среднего за 1950–1990 гг.)

Год	АО	ЕОФ1 БО	ЕОФ2 БО	ЕОФ1 МО	ЕОФ2 МО
<i>Большое количество осадков</i>					
1983	0,16	-0,3	-0,1	-0,1	1,8
1990	0,46	2,1	-0,5	2,0	1,8
1991	0,23	0,5	-0,3	-0,1	1,3
1993	0,33	1,7	-1,7	3,1	-0,9
1994	0,09	1,3	-1,0	1,2	0,1
1997	0,21	-1,0	-1,0	1,5	0,1
1998	0,28	1,8	-0,2	1,5	0,6
2000	0,10	-1,3	1,1	-1,0	2,0
2006	0,17	-0,2	-1,3	1,1	0,5
2012	0,14	1,7	0,8	0,7	0,2
<i>Очень малое количество осадков</i>					
1979	-0,20	0,9	-0,5	0,15	-1,4
1980	-0,30	-1,5	0,5	-1,7	-1,0
1981	-0,22	-0,1	1,2	-0,9	-0,4
1992	-0,27	-0,7	-0,9	0,0	-1,9
1995	-0,21	0,4	0,2	-0,0	-1,6
2002	-0,19	-1,2	-0,9	-1,1	-0,1
2004	-0,18	-0,4	0,5	-0,3	-0,3
2007	-0,44	-0,8	-0,4	-1,1	-1,5
2009	-0,17	-0,4	0,5	-0,4	-0,5
2013	-0,24	1,8	2,3	-0,1	-1,2

Примечание. Полу жирным выделены положительные значения > 0,4; серым фоном – отрицательные значения < -0,3.

Перечислим особенности распределения осадков для тех лет, в которые суммарные осадки в бассейне Селенги превышали среднее значение:

- 1983 г. – осадки выпали в российской части бассейна Селенги (ЕОФ2 МО).
- 1990 г. – осадки связаны с модой ЕОФ1 БО, в положительном полюсе которой оказался весь бассейн Селенги.
- 1991 г. – осадки выпали в российской части бассейна Селенги, мода ЕОФ1 БО положительна, но выражена слабо.
- 1993 г. – осадки выпали на территории Монголии и были связаны с модой ЕОФ1 БО.
- 1994 г. – осадки выпали на территории Монголии, преобладала мода ЕОФ1 БО.
- 1997 г. – осадки выпали в монгольской части бассейна Селенги, преобладала мода ЕОФ2 для МО, моды ЕОФ1 и ЕОФ2 для БО отрицательны.
- 1998 г. – осадки связаны с модой ЕОФ1, в положительном полюсе которой оказался весь бассейн Селенги.
- 2000 г. – в БО преобладали моды с большим количеством осадков в Забайкалье и на Дальнем Востоке и засухой в Монголии, осадки выпадали на российской территории бассейна Селенги.
- 2006 г. – ЕОФ2 в БО отрицательна – в Монголии осадки выпали, в Забайкалье нет; в МО осадки выпадали на всей территории бассейна, несколько больше осадков выпало в Монголии.
- 2012 г. – ЕОФ1 и ЕОФ2 в БО положительны, но амплитуда ЕОФ1 примерно в 2 раза больше ам-

плитуды ЕОФ2; осадки по всему бассейну, но амплитуды ЕОФ1 и ЕОФ2 в МО небольшие.

Таким образом, в шести случаях из десяти осадки были связаны с модой ЕОФ1 «Монголия – Восточная Сибирь», при которой осадки выпадают в Монголии. В одном случае осадки были связаны с модой ЕОФ2 «Забайкалье – Монголия – Китай», при которой они выпадают в Забайкалье и на российской территории бассейна Селенги. В трех случаях осадки в бассейне Селенги не сопровождалась выраженной конфигурацией ЕОФ в БО, при этом осадки выпадали либо на российской, либо и на монгольской территории бассейна.

Для отрицательных аномалий осадков характерны следующие особенности. В семи случаях из десяти ЕОФ1 для БО была отрицательной (засуха в Монголии – осадки в Восточной Сибири), из оставшихся трех случаев в двух амплитуда ЕОФ1 была достаточно велика. В шести случаях из десяти положительной была мода ЕОФ2 для БО (осадки в Забайкалье), но ни в одном из них осадки на территории бассейна не выпадали. Для всех 10 лет осадков не было как на российской, так и на монгольской территории бассейна. Аномальным был 2013 г.: амплитуды первых ЕОФ были положительными, но осадки на территории бассейна не выпадали.

Обсуждение

В предыдущем разделе был выполнен совместный анализ основных ЕОФ в разложении поля осадков над различными по площади территориями Восточной Сибири и Монголии и вариациями суммарного количества осадков, выпадающих в бассейне Селенги. В результате анализа полученных данных было установлено, что большая часть экстремумов осадков связана с модой ЕОФ1. На основе полученных ранее результатов [23] мы предположили, что эта мода колебаний осадков может быть обусловлена чередованием блокирований над Восточной Сибирью и Европой. Исследования событий блокирования и их связи с формированием осадков в удаленных регионах представляют отдельную и достаточно сложную задачу, для решения которой необходим анализ комплекса синоптических процессов. Приведем лишь два простых примера, иллюстрирующих эту связь. Первый случай соответствует июлю 1990 г.: количество осадков в бассейне Селенги в это время превышало норму, а ЕОФ1 была положительной. Второй случай соответствует июлю 2010 г.: количество осадков в этот период над бассейном Селенги было ниже нормы, а ЕОФ1 была отрицательной. Согласно результатам проведенного исследования вклад этих мод был наибольшим за период с 1979 по 2013 г.

На рис. 4, а, б (цв. вкладка) приведены длготно-временные диаграммы, показывающие положение блокингов в 1990 и 2010 гг. На диаграммы нанесены распределения индексов GHGS > 0 (южный градиент геопотенциала), соответствующие блокирующим ситуациям [26]. Именно этот критерий был использован ранее в работе [23] как основной для идентификации блокирований. Диаграммы

рассчитаны на основе данных ECMWF Era Interim [27] с сеткой $2,5^\circ$ по широте и долготе. Видно, что в июле 1990 г. (рис. 4, б) блокирование развивалось к востоку от Урала (60° в.д.) над Сибирью, а в июле 2010 г. (рис. 4, а) — к западу от Урала над Восточной Европой.

На рис. 4, в, г для сопоставления приведены распределения поля скорости (линии тока) и осадков. В геострофическом приближении распределения поля скорости достаточно хорошо отражают области высокого (H) и низкого (L) давления. Распределения осадков построены по данным GPCC [25], поле скорости — по данным реанализа NCEP/NCAR [28]. Для построения поля скорости выбран уровень 850 гПа, на котором в летний период осуществляется основной перенос влаги, в том числе в области муссона. На этом же уровне достаточно хорошо прослеживается и динамика блокирований.

На рис. 4, в в поле скорости хорошо виден монополярный блокинг над Европой, циклонические части которого при среднемесячном осреднении не выражены, что, в принципе, для этого типа блокирования довольно характерно. На западной периферии блокирующего антициклона видны полосы положительных аномалий осадков, что также достаточно типично для таких синоптических ситуаций [23]. К востоку от блокинга в умеренных широтах Азии хорошо видна знакопеременная цепочка аномалий осадков, которой соответствует чередование знаков барического поля. Возможные причины формирования таких аномалий в периоды блокирования над Европой описаны в [29]. В районе Восточной Сибири и Монголии распределения осадков имеют дипольную структуру. Для Западной и Восточной Сибири количество осадков выше нормы, над Монголией и большей частью Забайкалья осадков нет. В целом распределения осадков и поля скорости соответствуют предложенной нами схеме дальней связи между блокированиями над Евразией и осадками в бассейне Селенги. Непосредственными причинами выпадения осадков в Сибири могут быть динамические процессы на восточной периферии сопряженной ложбины или южные циклоны. Территория Монголии при таких синоптических ситуациях (блокирование над Европой, ложбины над Сибирью) часто оказывается в однородной воздушной массе с преимущественно антициклонической циркуляцией, препятствующей выпадению осадков [29–31].

В 1990 г. (рис. 4, г) над Западной и Восточной Сибирью видны признаки дипольного Рекс-блокинга. Этот тип блокинга характеризуется максимальным искажением крупномасштабной структуры барического поля с формированием антициклонической циркуляции в северных районах и циклонической циркуляции в южных. С циклонической циркуляцией в южной части блокинга связаны аномальные осадки в Северном Казахстане, Монголии и Северном Китае. Стоит подчеркнуть, что столь нетипичное распределение осадков и температуры (аномальная жара на севере и осадки в аридных районах) свойственно именно для дипольных блокингов в летний

период [23]. Одними из причин большого количества осадков к югу от блокирующего антициклона являются проникновение холодного воздуха по западной периферии сопряженной ложбины далеко на юг и формирование отсеченного циклона с мощными восходящими движениями. В циклоническую часть блокинга, расположенную над Монголией, при этом дополнительно вовлекается теплый и влажный муссонный воздух. Сейчас достоверно известно, что именно проникновение муссона глубоко на север является причиной аномальных паводков в бассейне Селенги [3, 6, 13]. Приведенный пример, в свою очередь, демонстрирует, что проникновение муссона, возможно, связано с процессами блокирования. Подобные аномалии в период блокирования характерны также для индийского муссона [32].

В целом над Евразией, как и в предыдущем случае, хорошо видна цепочка знакопеременных аномалий барического поля и осадков, только в 1990 и 2010 гг. знаки аномалий противоположны. Над Восточной Сибирью и Монголией также преобладает дипольная структура, но с большим количеством осадков в Монголии и отсутствием осадков в Восточной Сибири. Как и в предыдущем случае, граница между аномалиями осадков проходит не строго по границе между Восточной Сибирью и Монголией. В области положительной аномалии оказывается территория Забайкалья, формально относящаяся к Восточной Сибири.

Заключение

Проведен совместный анализ ЕОФ полей осадков над Монголией, Восточной Сибирью и в бассейне р. Селенги и вариаций полного количества осадков, выпавших на территории бассейна. Разложения на ЕОФ были выполнены для БО ($90\text{--}120^\circ$ в.д., $35\text{--}70^\circ$ с.ш.) и МО ($96\text{--}110^\circ$ в.д., $46\text{--}54^\circ$ с.ш.). В каждом домене анализировались пространственные особенности ЕОФ и вариации со временем амплитуд двух первых ЕОФ, выбирающих суммарно 32,3 и 48,9% изменчивости полей осадков.

Результаты наших исследований показали, что первые ЕОФ в разложении полей осадков достаточно адекватно отражают пространственную структуру выпадения осадков при различных циркуляционных условиях и могут рассматриваться в качестве кандидатов на роль предиктантов в задаче прогноза.

Для БО ЕОФ1 имеет дипольную структуру, характеризующую колебание осадков между Восточной Сибирью и Монголией, это распределение совпало с полученным ранее в [21, 22]. Положительная реализация этой моды обуславливает большое количество осадков в Монголии и засуху в Восточной Сибири. ЕОФ1 для МО также имеет дипольное распределение, определяющее колебание осадков между монгольской частью бассейна Селенги и Прибайкальем, и может рассматриваться как часть ЕОФ1 для БО. ЕОФ2 для БО характеризует колебание осадков между Забайкальем, Монголией и южными районами Китая (междуречье Хуанхэ и Янцзы). Поло-

жительная реализация этой моды связана с засухой в Монголии и осадками в Забайкалье и Китае. ЕОФ2 для МО имеет дипольное распределение, определяющее колебание осадков между российской частью бассейна и западными притоками Селенги.

Полное количество осадков в бассейне Селенги оказалось достаточно тесно связано с модой ЕОФ1 в БО и МО, а также с модой ЕОФ2 в МО. Анализ данных для 10 лет с наибольшими положительными и 10 лет с наибольшими отрицательными аномалиями осадков показал следующее. Большое количество осадков в бассейне Селенги чаще всего связано с положительной фазой ЕОФ1 (шесть из десяти случаев), а засухи — с отрицательной фазой ЕОФ1 и положительной фазой ЕОФ2 (семь из десяти случаев). Если учесть корреляцию осадков с конфигурацией блокингов и анализ отдельных случаев, то можно прийти к заключению, что блокинги, возникающие над Восточной Сибирью в период 1979–2013 гг., в основном способствовали выпадению осадков в бассейне Селенги, а блокинги, возникающие над Европой и к востоку от Байкала, препятствовали выпадению осадков в этом районе.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ (проект № 17-77-10035).

1. Бычков И.В., Никитин В.М., Абасов Н.В., Бережных Т.В., Максимова И.И., Осипчук Е.Н. Возможные изменения гидрологических характеристик в связи с регулированием стока в бассейне реки Селенги // Геогр. и прир. ресурсы. 2017. № 3. С. 75–86.
2. Сутырина Е.Н. Реакция стока р. Селенги на изменение интенсивности осадков и состояния водосборного бассейна // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. 2015. Т. 13. С. 120–130.
3. Бережных Т.В., Марченко О.Ю., Абасов Н.В., Мордвинов В.И. Изменение циркуляции атмосферы над Восточной Азией и формирование длительных маловодных периодов в бассейне реки Селенги // Геогр. и прир. ресурсы. 2012. № 3. С. 61–68.
4. Ding Y., Wang Z., Sun Y. Inter-decadal variation of the summer precipitation in East China and its association with decreasing Asian summer monsoon. Part I: Observed evidences // Int. J. Climatol. 2008. V. 28, N 9. P. 1139–1161.
5. Piao S., Ciais P., Huang Y., Shen Z., Peng S., Li J., Zhou L., Liu H., Ma Y., Ding Y., Friedlingstein P., Liu C., Tan K., Yu Y., Zhang T., Fang J. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China // Nature (Gr. Brit.). 2010. V. 467, N 7311. P. 43–51.
6. Марченко О.Ю., Мордвинов В.И., Антохин П.Н. Условия формирования и долговременная изменчивость атмосферных осадков летнего периода в бассейне р. Селенги // Оптика атмосфер. и океана. 2012. Т. 25, № 12. С. 1084–1090.
7. Törnqvist R., Jarsjö J., Pietron Ja., Bring A., Rogberg P., Asokan M.Sh., Destouni G. Evolution of the hydro-climate system in the Lake Baikal basin // J. Hydrol. 2014. V. 519. P. 1953–1962.
8. Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Зоркальцева О.С., Девятова Е.В. Атмосферные блокинги в Западной Сибири. Часть 1. Особенности обнаружения, объективные критерии и их сравнение // Метеорол. и гидрол. 2017. № 10. С. 34–45.
9. Pelly J.L., Hoskins B.J. A new perspective on blocking // J. Atmos. Sci. 2003. V. 60, N 5. P. 743–755.
10. Palmén E.H., Newton C.W. Atmospheric circulation systems: Their structure and physical interpretation // E.H. Palmén, C.W. Newton (eds.). New York: Acad. Press, 1991. 603 p.
11. Шахаева Е.В. Конвективные явления на территории Иркутской области в 2000–2013 гг. // Изв. Иркут. гос. ун-та Сер. Науки о Земле. 2015. Т. 12. С. 136–152.
12. Дзердзеевский Б.Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере Северного полушария в XX столетии // Материалы метеорологических исследований. М.: Изд-во ИГ АН СССР и Междувед. Геофиз. Комитета при Президиуме АН СССР, 1968. 240 с.
13. Хромов С.П. Муссоны в общей циркуляции атмосферы // А.И. Воейков и современные проблемы климатологии. Л.: Гидрометеиздат, 1956. С. 84–108.
14. Li J., Cook E.R., Chen F., Davi N., D'Arrigo R., Gou X., Wright W.E., Fang K., Jin L., Shi J., Yang T. Summer monsoon moisture variability over China and Mongolia during the past four centuries // Geophys. Res. Lett. 2009. V. 36, N 22. P. L22705.
15. Марченко О.Ю., Бережных Т.В., Мордвинов В.И. Экстремальная водность реки Селенги и особенности летней циркуляции атмосферы // Метеорол. и гидрол. 2012. № 10. С. 81–93.
16. Pearson K. On lines and planes of closest fit to systems of points in space // Philos. Mag. 1901. V. 11. P. 559–572.
17. Обухов А.М. О статистически ортогональных разложениях эмпирических функций // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1960. Вып. 3. С. 432–439.
18. Багров Н.А. Аналитическое представление последовательности метеорологических полей посредством естественных ортогональных составляющих // Тр. ЦИП. 1959. Вып. 74. С. 3–24.
19. North G.R., Bell T.L., Cahalan R.F. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions // Mon. Weather Rev. 1982. V. 110, N 7. P. 699–706.
20. Storch H.V., Zwiers F.W. Statistical analysis in climate research. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1999. 342 p.
21. Iwao K., Takahashi M. Interannual change in summertime precipitation over northeast Asia // Geophys. Res. Lett. 2006. V. 33, N 16. P. L16703.
22. Iwao K., Takahashi M. A precipitation seesaw mode between Northeast Asia and Siberia in summer caused by Rossby waves over the Eurasian continent // J. Clim. 2008. V. 21, N 11. P. 2401–2419.
23. Antokhina O.Yu., Antokhin P.N., Martynova Yu.V., Mordvinov V.I. The impact of atmospheric blocking on spatial distributions of summertime precipitation over Eurasia // IOP Conf. series: Earth and Environmental Science. 2016. V. 48. P. 012035.
24. Nakamura H., Nakamura M., Anderson J.L. The role of high- and low-frequency dynamics in blocking formation // Mon. Weather Rev. 1997. V. 125, N 9. P. 2074–2093.
25. Schneider U., Becker A., Finger P., Meyer-Christoffer A., Ziese M., Rudolf B. GPCP's new land surface precipitation climatology based on quality-controlled in situ data and its role in quantifying the global water cycle // Theor. Appl. Climatol. 2013. V. 115, N 1–2. P. 15–40.
26. Tibaldi S., Molteni F. On the operational predictability of blocking // Tellus A. 1990. V. 42, N 3. P. 343–365.
27. Dee D.P., Uppala S.M., Simons A.J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S., Andrae U., Balmaseda M.A., Balsamo G., Bauer P., Bechtold P., Beljaars A.C.M., Berg L., Bidlot J., Bormann N., Delsol C., Dragani R., Fuentes M., Geer A.J., Haimberger L., Healy S.B.,

- Hersback H., Holm E.V., Isaksen L., Kalberg P., Kohler H., Matricardi M., McNally A.P., Monge-Sanz B.M., Morcrette J.-J., Park B.-K., Peubey C., Rosnay P., Tarolato C., Thepaut N., Vitart F. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system // Q. J. R. Meteorol. Soc. 2011. V. 137, N. 656. P. 553–597.
28. Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // Bull. Am. Meteorol. Soc. 1996. V. 77, N 3. P. 437–471.
29. Schubert S.D., Wang H., Koster R.D., Suarez M.J. Northern Eurasian heat waves and droughts // J. Clim. 2014. V. 27, N 9. P. 3169–3207.
30. Iwasaki H., Nii T. The break in the Mongolian rainy season and its relation to the stationary Rossby wave along the Asian jet // J. Clim. 2006. V. 19, N 14. P. 3394–3405.
31. Sato N., Takahashi M. Dynamical processes related to the appearance of quasi-stationary waves on the subtropical jet in the midsummer Northern hemisphere // J. Clim. 2006. V. 19, N 8. P. 1531–1544.
32. Yamada T.J., Takeuchi D., Farukh M.A., Kitano Y. Climatological characteristics of heavy rainfall in Northern Pakistan and atmospheric blocking over Western Russia // J. Clim. 2016. V. 29, N 21. P. 7743–7754.

O.Yu. Antokhina, P.N. Antokhin, E.V. Devyatova, Yu.V. Martynova, V.I. Mordvinov. **The main precipitation modes over Mongolia and southern part of Eastern Siberia in July.**

We investigated the main precipitation modes over Mongolia and southern part of Eastern Siberia in midsummer. We used precipitation data from GPCP archive (1979–2013). The EOF analysis was applied to the interannual change in July precipitation for two areas: “big” (90–120°E; 35–70°N) and “small” (the Selenga basin, 96–110°E; 46–54°N). The total amount of precipitation within the Selenga basin in July was calculated. According to the obtained estimates two leading EOFs (EOF1 + EOF2) explains 32.3 and 48.9% of the total variance for the big and small areas, respectively.

с.ш.

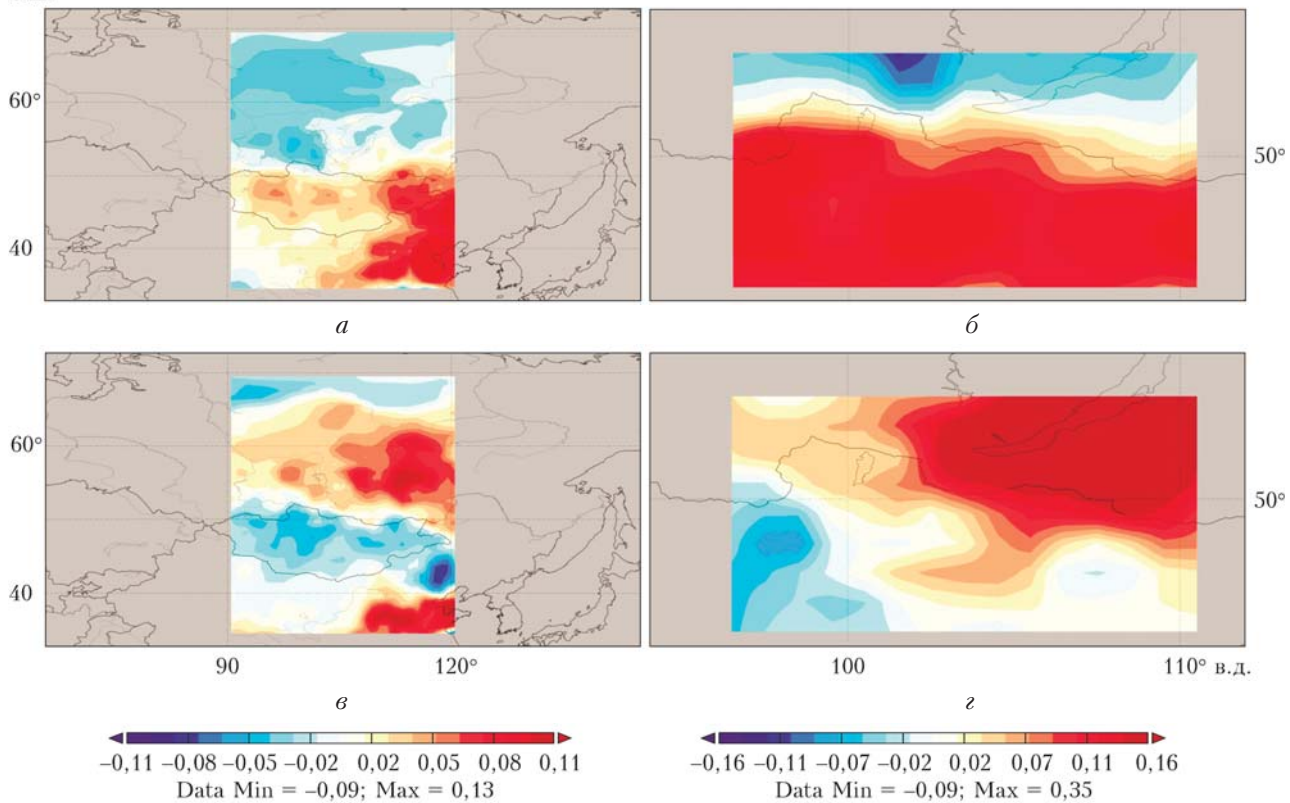


Рис. 2. Пространственная структура ЕОФ1 (*a*, *б*) и ЕОФ2 (*в*, *г*) для БО (*a*, *в*) и МО (*б*, *г*)

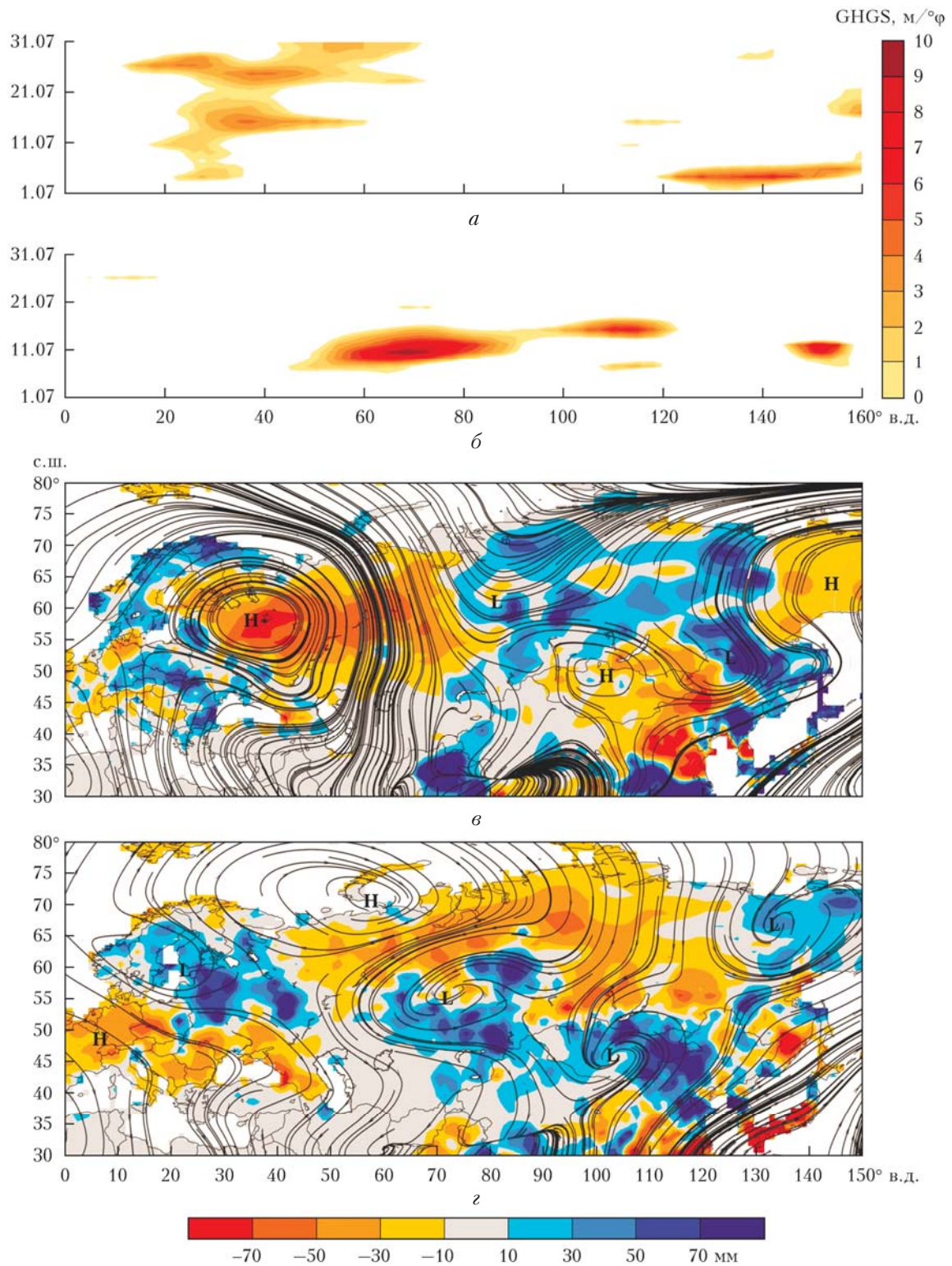


Рис. 4. Долготно-временные диаграммы показателя блокирования $GHGS > 0$ для июля 2010 г. (а) и 1990 г. (б); средне-месячные аномалии атмосферных осадков (относительно среднего за 1950–1990 гг.) и линии тока поля скорости (на уровне 850 гПа) в июле 2010 г. (в) и 1990 г. (г). Распределение аномалий атмосферных осадков получено при помощи сервиса GPCP Visualizer (<https://kunden.dwd.de/GPCP/Visualizer>)