

Т. В. Ершова, О. В. Петухова

АНАЛИЗ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ ПРИ ОПАСНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЯХ, СВЯЗАННЫХ С КУЧЕВО-ДОЖДЕВЫМИ ОБЛАКАМИ

Представлен сравнительный анализ метеорологических данных по грозам, ливням и граду для 12 станций Евразии за летний период 2000–2012 гг. Всего было проанализировано 4420 случаев с ливнями, 1833 случая с грозой, 18 случаев града и 2 случая смерча. Были исследованы термодинамические и кинетические параметры атмосферы, рассчитанные по данным радиозондов для 12 часов Всемирного скоординированного времени для 12 станций за период 2000–2012 гг. Были определены пределы изменчивости и особенности термодинамических и кинетических параметров атмосферы в Западной Сибири во время гроз и ливней, проанализированы термодинамические параметры атмосферы по данным погодных станций рядом с местами прохождения двух смерчей.

Ключевые слова: ливень, гроза, град, смерч, термодинамические параметры атмосферы, станции радиозондирования атмосферы, кучево-дождевые облака.

Введение

К опасным метеорологическим явлениям, связанным с кучево-дождевыми облаками, относятся ливни, грозы, град и смерч. Это одни из самых трудно прогнозируемых явлений, дискретных как по времени, так и в пространстве. Для территории Западной Сибири существующие методы прогноза гроз требуют усовершенствования на основе современных данных радиозондирования. Так, например, для аэропорта Толмачево (Новосибирск) оправдываемость прогнозов фронтальных гроз изменяется от 55 % по методу Седлецкого до 77 % для внутримассовых гроз по методу Кокса [1]. Для аэропорта Богашёво в Томске прогноз конвективных явлений (гроз, града и осадков) проводится по методу Н. И. Глушковой – В. Ф. Лапчевой. Все указанные расчетные методы основаны на анализе таблиц и графиков и разделении, например, грозовой и безгрозовой ситуаций. Методы прогноза опасных явлений, связанных с кучево-дождевой облачностью, были разработаны на фактическом материале более 40 лет назад и в дальнейшем не обновлялись и не уточнялись на современных данных. Поэтому одной из первоочередных задач является параметризация термодинамических и кинетических параметров атмосферы при грозах, ливнях и граде для территории Западной Сибири. В России данными исследованиями начали заниматься только последние 10 лет [2, 3]. Представленная работа является продолжением вышеназванных исследований за более продолжительный период и для большей территории в Западной Сибири. Для сравнения выбрана территория Центральной Европы (Германия и Польша), для которой уже на протяжении нескольких лет термодинамические параметры атмосферы активно используются для автоматизированного прогнозирования опасных явлений погоды, связанных с кучево-дождевой облачностью [4–8].

В перспективе планируется уточнение существующих методов прогноза гроз, ливней и града на основе современных данных радиозондирования атмосферы для территории Западной Сибири.

Ливни, грозы, град и смерчи приводят к значительным разрушительным последствиям. Одними из самых масштабных явлений, к которым приводят сильные ливни, являются наводнения. Катастрофические наводнения регистрировались летом 2012 г. в России на Черноморском побережье, в Восточной Германии в 2002 г., в Западной Польше в 1997 г. Подобная ситуация складывалась в Центральной Европе и в июне 2013 г.

Молнии могут быть причиной пожаров, нарушать работу линий электропередачи и другого оборудования, поражать самолеты и космические аппараты. Например, в мае 2010 г. молния ударила в пассажирский самолет Москва–Томск [9], в результате был поврежден фюзеляж самолета, а также полностью разрушен верхний разрядник статического электричества. Молния может травмировать или даже убить человека или животное. В Томской области только за период 1990–2011 гг. [9] от разрядов молний погибло 23 человека и получили ранения 21 человек, а летом 2006 г. от шагового напряжения при молнии погибло стадо коров.

Град уничтожает посевы, от ударов больших градин гибнет скот, птица и реже люди. Град наносит повреждения и даже пробивает крыши домов и автомобилей.

При смерче возникают огромные скорости ветра, а также происходит значительный скачок атмосферного давления в несколько гектопаскалей всего за несколько секунд [10]. Смерч способен «взорвать» дом или сорвать крышу, опрокинуть мост, поднять вверх автомобиль и другие предметы. Разлетающиеся осколки и раз-

Таблица 1

Перечень и местоположение метеостанций на территории России (Западная Сибирь), Германии, Польши и Китая (Горный Алтай)

Регион	Метеорологические станции	Период наблюдения	Высота над уровнем моря в метрах	Географические координаты (N – с. ш. E – в. д.)
Россия (Западная Сибирь)	Колпашево (Томская область)	2005–2012	75	58°18' N 82°54' E
	Александровское (Томская область)	1999–2012	48	60°26' N 77°52' E
	Барабинск (Новосибирская область)	2000–2012	102	55°22' N 78°24' E
	Новосибирск (Огурцово)	2004–2012	133	54°54' N 82°57' E
Германия	Эрфурт-Виндерслебен	2000–2012	322	50°59' N 10°58' E
	Киль-Хольтенау	2000–2012	31	54°23' N 10°09' E
	Дюссельдорф	2000–2012	41	51°18' N 6°46' E
	Трир-Петрисберг	2000–2012	273	49°45' N 6°40' E
Польша	Варшава	2000–2012	107	52°10' N 20°58' E
	Вроцлав	2000–2012	121	51°06' N 16°53' E
	Леба	2000–2012	2	54°45' N 17°32' E
Китай	Алтай	2000–2012	737	47°44' N 88°05' E

личные обломки зданий и конструкций наносят значительный ущерб и приводят к травмированию и даже гибели людей. После смерча остается полоса опустошения длиной в несколько километров. В умеренных широтах, включая Россию и Центральную Европу, смерчи бывают каждое лето по несколько раз. Примером могут служить зарегистрированные смерчи в мае 2013 г. в г. Ефремов Тульской области, в Ханты-Мансийском автономном округе – Югра в июне 2012 г. [11] и в Польше около города Леба в июле 2012 г. Данные метеорологических станций о случаях градобития и смерче из-за редкой сети, к сожалению, нельзя считать вполне репрезентативными [12], поэтому требуется учет сообщений средств массовой информации об этих явлениях. Особенно важна для анализа информации о термодинамическом состоянии атмосферы по данным ближайших к месту происшествия (град или смерч) станций радиозондирования.

Цель данного исследования – сравнительный анализ термодинамических и кинетических параметров атмосферы при опасных явлениях, связанных с кучево-дождевыми облаками.

Материалы и методы

Материалом исследования послужила информация о случаях с ливнями, грозами, градом и смерчем для метеорологических станций Германии, Польши, России (Западная Сибирь) и Китая (Горный Алтай), представленная на сервере Института космических исследований РАН «Погода России» [13]. Данные радиозондирования в дни с явлениями, связанными с кучево-дождевой облачностью, были взяты на сайте американского университета Wyoming [14]. Отметим, что метеорологические станции (регистрирующие факт ливня, грозы, града) и аэрологические станции (ведущие два раза в сутки радиозондирование атмосферы до высот 30 км) не всегда находятся в одном месте. Сеть станций радиозондирования атмосферы гораздо реже, чем сеть метеостанций. Например, на территории Польши радиозондирование атмосферы проводится только на трех станциях, и поэтому взяты для анализа только три пары «метеостанция – станция радиозондирования», для Западной Сибири и Германии только четыре пункта имеют пару станций «метеостанция – станция радиозондирования». На китайской станции Алтай проводятся как метеорологические, так и аэрологические измерения. Отметим, что расстояние между выбранными для анализа метеорологическими станциями и станциями радиозондирования атмосферы не превышало 10 км.

На территории Западной Сибири в России высоты расположения станций изменяются в небольших пределах – от 48 м для станции Александровское (север Томской области) до 133 м станция Огурцово (около города Новосибирска).

Метеостанции Германии находятся в пределах от 31 до 322 метров над уровнем моря. Наиболее высоко в предгорьях Тюрингенского леса расположена станция Erfurt-Vindersleben. Наименьшую высоту над уровнем моря (31 м) имеет станция Kiel-Holtenau на берегу Кильской бухты Балтийского моря.

В Польше метеостанции Вроцлав и Варшава находятся на высотах 121 и 107 м соответственно. Станция Леба расположена практически в двух метрах над уровнем моря.

На территории Китая совмещенная радиометеорологическая станция Altay расположена в горной

области (737 м) в Синьцзян-Уйгурском автономном районе. Периоды наблюдений всех выбранных зарубежных станций составили 13 лет с 2000 по 2012 гг. Периоды наблюдений на российских станциях меньше, например, для Новосибирска (Огурцово) период наблюдений составил 9 лет с 2004 по 2012 гг. и для Колпашево наблюдения проводились 8 лет (2005–2012). Для самой северной из рассмотренных станций – Александровское – период наблюдений составил 14 лет с 1999 по 2012 гг.

Результаты и обсуждение

На первом этапе данные метеорологических станций о количестве случаев с ливнями, грозами, градом и смерчем за летний период (июнь–август) систематизировались в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение количества случаев с опасными конвективными явлениями для территории России (Западная Сибирь), Германии, Польши и Китая (Горный Алтай)

Станции радиозондирования/ метеостанция	Периоды наблюдений	Количество случаев/среднее за год			
		Ливни	Грозы	Град	Смерч
Россия, Западная Сибирь					
Александровское	1999–2012	341/24	151/11	3	–
Колпашево	2005–2012	174/22	126/16	1	–
Новосибирск	2004–2012	268/30	149/17	1	–
Барабинск	2000–2012	193/15	124/10	0	–
Китай					
Алтай	2000–2012	110/9	57/4	1	–
Польша					
Вроцлав	2000–2012	351/27	143/11	4	–
Легионово/ Варшава	2000–2012	362/28	190/15	7	–
Леба	2000–2012	315/24	136/11	0	1 (14.07.2012)
Германия					
Эссен/ Дюссельдорф	2000–2012	575/44	155/12	1	–
Идер-Оберштайн/ Трир-Петрисберг	2000–2012	561/43	176/14	1	–
Майнинген/ Эрфурт	2000–2012	583/45	172/13	2	–
Шлесвиг/ Киль Хольтенау	2000–2012	555/43	141/11	2	–

Примечание. В связи с редкостью регистрируемых явлений града и смерча не приведены средние значения за год.

Согласно табл. 2, для территории Западной Сибири в России максимальное количество ливней за год отмечалось на станции Новосибирск – 30

случаев. В Барабинской степи (западнее Новосибирска на 300 км) отмечалось в два раза меньше ливней, в среднем всего 15 за год.

В Западной Сибири максимальное число случаев с грозами за год характерно для станции Новосибирск (17 случаев) и Колпашево (16 случаев). Для территории Польши 15 случаев с грозами за год зарегистрировано в Легионово, а в Германии на станции Идер-Оберштайн отмечалось 14 случаев с грозой за год. Отметим, что наименьшее значение случаев с грозами и ливнями отмечается на горной станции Алтай в Китае – 9 и 4 случая за год соответственно.

Для рассмотренных европейских станций максимальное количество случаев с ливнями наблюдалось на территории Германии, в среднем за год от 43 до 45 случаев. На территории Польши наибольшее среднее количество случаев за год отмечено на станциях Легионово и Вроцлав и составило 28 и 27 случаев соответственно. Для самой северной польской станции Леба характерно значение 24 случая с ливнями.

Анализируя данные о случаях с градом, можно отметить, что это явление редко фиксируется метеорологическими станциями в Европе, где количество станций превосходит на порядок количество станций в Сибири. Наибольшее количество случаев с градом – 7 случаев за весь анализируемый период – было зафиксировано на станции Легионово в Польше. Информация о еще более редком явлении в умеренных широтах – смерче была доступна только из средств массовой информации. За исследуемый период было отмечено два случая со смерчем – 14 июля 2012 г. на территории Польши и 12 июня 2012 г. в Западной Сибири (около Ханты-Мансийска) [11].

В целом, сравнивая частоту опасных явлений, связанных с кучево-дождевой облачностью (ливни, грозы, град), можно отметить, что чаще всего отмечаются ливни. Причем над Центральной Европой количество ливней превышает грозы почти в три раза, а над Западной Сибирью – только в два раза. Град на метеорологических станциях отмечается довольно редко – не более 7 раз за лето.

На втором этапе были систематизированы и проанализированы данные радиозондирования [14] в дни наблюдения изучаемых опасных явлений. Учитывая суточный ход кучево-дождевой облачности с максимумом в послеполуденное время, информация о радиозондировании была взята за 12 часов ВСВ (Всемирного скоординированного времени). В таблице 3 приведены термодинамические индексы, рассчитанные по данным радиозондирования и наиболее часто анализируемые исследователями [2–8] при грозах, ливнях и граде: SHOW (Showalter index), K_{INX} (K index), LIFT (Lifted

index), SWEAT index, TOTL (Totals totals index), CAPE (Convective Available Potential Energy), CINS (Convective Inhibition), EQLV (Equilibrium Level), LFCT (Level of Free Convection).

Параметры SHOW, LIFT определяются по разности температур окружающей среды и поднимающейся воздушной частицы на уровне 500 гПа (5,5 км). Расчет параметров TOTL и K_{INX} включает не только характеристики температуры на высотах 1,5 км, 3 и 5,5 км, но и характеристики влажности. Параметр SWEAT является комплексным и объединяет характеристики влажности, температуры, а также скорость, направление и сдвиг ветра на вы-

сотах 1,5 и 5,5 км (850 и 500 гПа соответственно). Конвективная потенциальная энергия (CAPE) рассчитывается суммированием в слое от уровня свободной конвекции (LFCT) до уровня равновесия (EL) только тех значений разности температур окружающей среды и поднимающейся частицы облака, которые больше 0 °С. Энергия задерживающего слоя (CINS) рассчитывается суммированием от слоя перемешивания до уровня свободной конвекции, значений разности температур окружающей среды и частицы облака, которые меньше 0 °С. Более подробное описание и формулы расчетов этих индексов приведены в [3, 6, 14].

Таблица 3

Средние значения термодинамических параметров атмосферы и среднеквадратических отклонений (X_{cp}/σ) при опасных явлениях, связанных с кучево-дождевой облачностью для станций России (Западная Сибирь), Китая (Горный Алтай), Германии и Польши для 12 часов ВСВ

Явление (количество случаев (сл.))	Термодинамические параметры атмосферы, X_{cp}/σ								
	SHOW, °С	LIFT, °С	SWEAT	K_{INX} , °С	TOTL, °С	CAPE, Дж/кг	CINS, Дж/кг	EQLV, гПа	LFCT, гПа
Россия, Западная Сибирь									
Ливень (752 сл.)	4/3	2/4	134/65	24/9	46/5	181/362	-24/44	558/195	834/74
Гроза (594 сл.)	2/3	-1/3	157/72	28/7	48/5	423/535	-49/66	402/180	795/87
Смерч (1 сл.)	2	-3	137	34	49	886	-33	272	856
Китай (Алтай)									
Ливень (110 сл.)	3/2	1/2	108/51	24/10	45/6	97/201	-37/65	383/120	681/101
Гроза (57 сл.)	2/2	0/2	110/54	27/7	47/4	173/324	-68/87	337/106	636/91
Германия									
Ливень (2360 сл.)	5/3	3/3	143/63	21/12	45/5	86/200	-17/42	606/180	832/78
Гроза (656 сл.)	3/3	1/3	162/65	25/8	48/4	191/250	-35/61	470/161	803/75
Град (7 сл.)	2/3	1/4	171/75	21/8	51/5	136/152	-23/57	455/153	835/94
Польша									
Ливень (1198 сл.)	4/3	2/3	146/59	23/10	45/5	137/273	-25/56	572/197	832/81
Гроза (526 сл.)	2/2	1/3	165/66	27/8	48/4	283/350	-42/60	432/185	797/84
Смерч (1 сл.)	3	-0,1	207	29	48	109	-12	430	873
Град (11 сл.)	2/3	1/3	165/52	28/6	49/3	157/214	-63/115	522/214	762/93

Кучево-дождевые облака образуются при неустойчивой стратификации атмосферы, которая традиционно в метеорологии [15] оценивается по методу частицы, когда делается предположение о том, что частица (облака) движется вверх, а окружающий воздух неподвижен. Анализируя табл. 3, можно отметить, что температура поднимающейся частицы облака (Showalter index) при ливнях всего на 1–2 °С превышает это же значение при грозах, что не превышает среднеквадратическое отклонение. Данный показатель в ливневых облаках изменяется в пределах от 3 до 5 °С, а в грозовых – от 2 до 3 °С. Среднее значение индекса подъема (Lifted index) на всех станциях регионов при ливнях изменяется от 1 до 3 °С, при грозах – от –1 до 1 °С, что также не превышает среднеквадратическое отклонение (2–4 °С). Для Западной Сибири за исследуемый период минимальное значение индекса подъема составило –12 °С, что ниже значения (–9 °С) приведенного в [2]. Комплексный параметр SWEAT, характери-

зующий влажность, температуру, а также сдвиг и направление ветра, на всех станциях регионов при грозах значительно выше, чем при ливнях, т. е. характеристики температуры и точки росы на высотах 1,5 и 5,5 км в грозовых облаках превышают данные показатели в ливневых облаках. Среднее значение параметра K_{INX} при грозах на всех станциях в среднем на 3–4 °С выше, чем при ливнях, следовательно, при возникновении молнии требуется больший контраст температур между уровнями 1,5 и 5,5 км и большая вертикальная протяженность слоев высокой влажности, чем при ливнях. Для Западной Сибири максимальное значение K_{INX} составило 39 °С, что ниже приведенного в [2] максимального значения 58 °С. Среднее значение индекса TOTL во всех регионах при грозах в целом выше на 2–3 °С, чем при ливнях, т. е. контраст температур и дефицит точки росы на высотах 1,5 и 5,5 км в данном случае ниже при ливне, чем в при грозах. Максимальное значение TOTL для Западной Сибири со-

ставило 57 °С, что ниже значения 63 °С, приведенного в [2]. Среднее значение конвективной потенциальной энергии (CAPE) при грозах примерно в два раза выше, чем при ливнях, следовательно, поднимающаяся частица в грозовых облаках достигает значительно больших высот, чем в ливневых. Максимальный показатель конвективной потенциальной энергии за исследуемый период достигал 4125 Дж/кг (11 августа 2012 г., Колпашево), что хорошо согласуется с зарубежными исследованиями [6, 7], в которых отмечается, что при значениях CAPE выше 2500 Дж/кг атмосфера крайне неустойчива и способна породить крайне опасные конвективные явления со шквалами.

Уровень свободной конвекции (LFCT, нижняя граница облаков) и уровень равновесия (EQLV, верхняя граница облаков) в грозовых облаках выше, чем в ливневых. Мощность слоя между уровнями LFCT и EQLV в грозовых облаках значительно превышает мощность ливневых облаков.

Для горной станции Алтай значение термодинамических параметров (особенно SWEAT, CAPE, CINS, LFCT, EQLV) отличается от параметров, характерных для равнинных территорий. Для всех параметров средние значения при ливнях не существенно (не превосходят σ) отличаются от значений при грозах. В горной местности конвективные облака расположены выше, чем над равниной. На всех исследуемых станциях равнинной территории разница между уровнем равновесия (EQLV) и уровнем свободной конвекции (LFCT) в грозовых облаках значительно больше, чем в ливневых. Для горной области эти значения практически не отличаются и составляют для грозовых облаков 299 гПа, а для ливневых – 298 гПа.

При развитии и возникновении смерча значения термодинамических параметров атмосферы принимают несколько иные значения, чем при грозах и ливнях. Отметим, что приведенный ниже анализ термодинамических характеристик относится только к двум случаям смерча. Над территорией Западной Сибири (около Ханты-Мансийска) значения температуры поднимающейся частицы (Showalter index) при смерче равны 2 °С (табл. 3), что ниже, чем в ливневых облаках, но сравнимо со значением при грозах. На территории Польши (около Леба) температура поднимающейся частицы выше температуры в Западной Сибири и соответствует показателю 3 °С, что ниже, чем при ливнях на 1 °С, но выше, чем в грозовых облаках (на 1 °С). Индекс подъема (Lifted index) принимает отрицательные значения: в Западной Сибири отмечается минимальное значение – 3 °С, в Польше этот показатель выше – 0,1 °С. Комплексный

параметр SWEAT при смерче в Западной Сибири равен 49, что выше, чем при грозах и ливнях. В Польше значение этого параметра несколько ниже – 48, но он равен значению при грозах и на 3 единицы выше, чем при ливнях. Значение конвективной потенциальной энергии атмосферы (CAPE) при возникновении смерча на территории Западной Сибири принимает максимальные значения – 886 Дж/кг, в Польше этот показатель меньше в 8 раз – 109 Дж/кг. Значение уровня равновесия (EQLV) при развитии смерча меньше, чем в грозовых и ливневых облаках, как в Западной Сибири, так и на территории Польши. Распределение этого уровня различно: на территории Западной Сибири уровень равновесия находится на высоте 272 гПа (около 10 км), в Польше – 430 гПа (около 6,5 км). Уровень свободной конвекции (LFCT) равен 850 гПа (1,5 км), и 873 гПа (1,4 км) соответственно, поэтому разница между значениями EQLV и LFCT больше на территории Западной Сибири – 584 гПа, чем в Польше – 443 гПа.

Заключение

1. Выявлены пределы изменчивости значений термодинамических параметров атмосферы при грозах, ливнях и граде для территории Западной Сибири за период 2000–2012 гг.:

- средние значения Lifted index составляли от -1 до 4 °С при минимальном значении -12 °С;
- средние значения K_{INX} изменялись от 21 до 34 °С при максимальном значении 39 °С;
- средние значения TOTL составляли от 47 до 51 °С при максимальном значении 57 °С;
- максимальные показатели конвективной потенциальной энергии CAPE превышали 4000 Дж/кг, при средних значениях от 100 до 900 Дж/кг.

2. Сравнительный анализ для территории Западной Сибири (Россия) и Центральной Европы (Германия и Польша) показал незначительные различия средних значений термодинамических индексов при конвективных явлениях с учетом среднеквадратического отклонения.

3. Для горной станции в отличие от равнинных станций мощность конвективных облаков, порождающих как грозы, так и ливни, одинакова. Для равнинной территории мощность грозовых облаков значительно превышает мощность ливневых облаков.

Данные результаты являются шагом к усовершенствованию методики прогноза гроз, ливней и града для Западной Сибири на основе термодинамических параметров.

Работа выполнена при частичной поддержке программы Эрасмус Мундус (Erasmus Mundus EMA 2 MULTIC 10–939).

Список литературы

1. Токарева Ю. В. Опасные явления погоды для авиации и расчетные методы их прогноза, используемые в филиале Новосибирского ЗАМЦ. URL: <http://method.hydromet.ru/event/dec05/doklad1/doklad1.html> (дата обращения: 26.05.2013).
2. Горбатенко В. П., Константинова Д. А. Конвекция в атмосфере над юго-востоком Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 1. С. 17–21.
3. Ершова Т. В., Горбатенко В. П., Клипова О. А. Термодинамическое состояние атмосферы при грозах и ливнях // Вестн. Томского гос. пед. ун-та (TSPU Bulletin). 2012. Вып. 7 (122). С. 9–14.
4. Sholwalter A. K. A stability index for thunderstorm forecasting // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 1953. 34. P. 250–252.
5. Andersson T. A. M. J. C. N. S. Thermodynamic indices for forecasting thunderstorms in southern Sweden // Meteorol. Mag. 1989. 116. P. 141–146.
6. Kunz M. The skill of convective parameters and indices to predict isolated and severe thunderstorms // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2007. 7. P. 327–342.
7. Huntrieser H., Schiesser H. H., Schmid W., Waldvogel A. Comparison of traditional and newly developed thunderstorm indices for Switzerland // Weather and Forecasting. 1997. Vol. 12. P. 108–125.
8. Johns R. H., Doswell C. A. Severe local storms forecasting // Weather and Forecasting. 1992. P. 558–612.
9. Ершова Т. В., Петухова О. В. Молнии и последствия от них на территории Томской области за период 1990–2011 гг.: труды VII Всерос. конф. по атмосферному электричеству. Санкт-Петербург. 24–28 сентября 2012. Санкт-Петербург, 2012. С. 75–76.
10. Астапенко П. Д. Вопросы о погоде. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 240 с.
11. Найшуллер М. Г., Лукьянов В. И., Васильев Е. В. Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации // Метеорология и гидрология. 2012. № 9. С. 114–121.
12. Сулаквелидзе Г. К. Ливневые осадки и град. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 412 с.
13. Сервер «Погода России» Лаборатории информационной поддержки космического мониторинга. URL: <http://meteo.infospace.ru> (дата обращения: 10.05.2013).
14. University of Wyoming. Department of atmospheric science. URL: <http://www.weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> (дата обращения: 13.05.2013).
15. Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 751 с.

Ершова Т. В., кандидат физико-математических наук, доцент.
Томский государственный педагогический университет.
Ул. Киевская, 60, Томск, Россия, 634061.
E-mail: Ershova10@mail.ru

Петухова О. В., студент.
Томский государственный педагогический университет.
Ул. Киевская, 60, Томск, Россия, 634061.
E-mail: oksana.petuhova.2011@mail.ru

Материал поступил в редакцию 25.06.2013.

T. V. Ershova, O. V. Petuhova

ANALYSIS OF THE THERMODYNAMICS OF THE ATMOSPHERE DURING SEVERE WEATHER EVENTS ASSOCIATED WITH CUMULONIMBUS CLOUDS

The article presents the analysis of data of thunderstorms, heavy rains, hails for 12 weather stations in Eurasia during the summer period of 2000–2012. There were analyzed 4420 events of heavy rains, 1833 events of thunderstorms, 18 events of hail and 2 events of tornado. Investigates thermodynamic and kinematic parameters calculated from the radiosounding at 12:00 UTC (Coordinated Universal Time) at 12 stations during 2000–2012. Identifies the limits of variability and features of the thermodynamic and kinematic parameters of the atmosphere in Western Siberia during thunderstorms and heavy rains. Thermodynamic parameters of the atmosphere at the weather stations near the site, where two tornadoes were analyzed.

Key words: *thunderstorm, heavy rain, hail, tornado, the thermodynamic parameters of the atmosphere, radiosonde stations of the atmosphere, cumulonimbus clouds.*

References

1. Tokareva Yu.V. *Opasnye yavleniya pogody dlya aviatsii i raschetnye metody ikh prognoza, ispol'zuemye v filiale Novosibirskogo ZAMTs* [Hazardous weather phenomena for aviation and computational methods of forecasting used in the Novosibirsk branch of WSMZ]. URL: <http://method.hydromet.ru/event/dec05/doklad1/doklad1.html> (Accessed: 26 May 2013) (in Russian).
2. Gorbatenko V. P., Konstantinova D. A. Konvektsiya v atmosfere nad yugo-vostokom Zapadnoy Sibiri [Convection in the atmosphere over the south-east of Western Siberia]. *Optika atmosfery i okeana – Atmospheric and Oceanic Optics*, 2009, vol. 22, no. 1, pp. 17–21 (in Russian).
3. Ershova T. V., Gorbatenko V. P., Klipova O. A. Termodinamicheskoe sostoyanie atmosfery pri grozakh i livnyakh [The thermodynamic state of the atmosphere during thunderstorms and heavy rains]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta – TSPU Bulletin*, 2012, no. 7 (122), pp. 9–14 (in Russian).
4. Sholwalter A. K. A stability index for thunderstorm forecasting. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 1953, 34, pp. 250–252.
5. Andersson T. A. M. J. C. N. S. Thermodynamic indices for forecasting thunderstorms in southern Sweden. *Meteorol. Mag.*, 1989, 116, pp. 141–146.
6. Kunz M. The skill of convective parameters and indices to predict isolated and severe thunderstorms. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2007, 7, pp. 327–342.
7. Huntrieser H., Schiesser H. H., Schmid W., Waldvogel A. Comparison of traditional and newly developed thunderstorm indices for Switzerland. *Weather and Forecasting*, 1997, vol. 12, pp. 108–125.
8. Johns R. H., Doswell C. A. Severe local storms forecasting. *Weather and Forecasting*, 1992, pp. 558–612.
9. Ershova T. V., Petukhova O. V. Molnii i posledstviya on nikh na Territorii Tomskoy oblasti za period 1990–2011 gg. [Lightning and the consequences of them in the Tomsk region for the period 1990–2011]. *Trudy VII Vserossiyskoy konferentsii po atmosfernomu elektrichestvu* [Proceedings of the VII All-Russian Conference on Atmospheric Electricity]. Sankt-Peterburg, 2012. Pp. 75–76 (in Russian).
10. Astapenko P. D. *Voprosy o pogode* [Questions about the weather]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1982. 240 p (in Russian).
11. Nayshuller M. G., Luk'yanov V. I., Vasil'ev E. V. Anomal'nye gidrometeorologicheskie yavleniya na territorii Rossiyskoy Federatsii [Abnormal weather events in the territory of the Russian Federation]. *Meteorologiya i gidrologiya – Russian Meteorology and Hydrology*, 2012, no. 9, pp. 114–121 (in Russian).
12. Sulakvelidze G. K. *Livnevye osadki i grad* [Heavy rains and hail]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1967. 412 p. (in Russian).
13. Web Server «Russia's Weather» by Space Monitoring Information Support laboratory (in Russian). URL: <http://meteo.infospace.ru> (Accessed: 10 May 2013) (in Russian).
14. University of Wyoming. Department of atmospheric science. URL: <http://www.weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> (Accessed: 13 May 2013). (in Russian).
15. Matveev L. T. *Kurs obshchey meteorologii. Fizika atmosfery* [The course of general meteorology. Physics of Atmosphere]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1984. 751 p. (in Russian).

Ershova T. V.

Tomsk State Pedagogical University.

Ul. Kievskaya, 60, Tomsk, Russian, 634061.

E-mail: Ershova10@mail.ru

Petuhova O. V.

Tomsk State Pedagogical University.

Ul. Kievskaya, 60, Tomsk, Russian, 634061.

E-mail: oksana.petuhova.2011@mail.ru