

УДК 551.524.632.11;551.525.4;551.577.62

КАТАСТРОФИЧЕСКАЯ ЖАРА 2010 ГОДА В МОСКВЕ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

© 2012 г. М. А. Локощенко

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
119991 Москва, Ленинские горы
E-mail: loko@geogr.msu.su

Поступила в редакцию 05.03.2011 г., после доработки 17.10.2011 г.

Обсуждаются значения метеорологических величин по результатам наземных наблюдений в Москве (главным образом в МГУ) летом 2010 г. Показано, что аномальная жара 2010 г. не имеет аналогов в истории метеорологических измерений в российской столице ни в самих рекордных значениях, ни в их продолжительности. Превышенными оказались как вековые рекорды среднемесячной температуры воздуха в июле и августе за последние 230 лет, так и абсолютный максимум температуры за последние 130 лет. Впервые в истории регулярных метеорологических измерений максимальная температура воздуха в Москве превысила $+38^{\circ}\text{C}$, среднесуточная $+30^{\circ}\text{C}$, среднемесячная температура $+26^{\circ}\text{C}$, температура поверхности почвы $+60^{\circ}\text{C}$, недостаток насыщения водяного пара – 50 гПа. В целом тропический воздух, господствовавший в Москве, был в большей степени аномально жарким, нежели аномально сухим. Наименьшая относительная влажность во время катастрофической жары – 16% – лишь приблизилась к историческому минимуму (15%). Количество осадков в июле 2010 г. впервые в истории измерений составило для этого месяца лишь 7.4 мм. В своей совокупности такие условия определили возникновение массовых очагов возгорания в московском регионе и, как следствие, сильной дымной мглы. Связанные с катастрофической жарой рекордно высокие за последние 45 лет значения температуры грунта отмечались на глубине 320 см вплоть до конца 2010 г.

Ключевые слова: катастрофическая жара, температура воздуха, осадки, температура грунта, вековые рекорды, блокирующий антициклон, “остров тепла”.

1. ВВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ РЕКОРДЫ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

Аномальное погодное явление исключительно сильной жары в июне–августе 2010 г. значительно превзошло сходные события 1972, 1981 и 2002 гг. и привело к катастрофическим последствиям. Согласно предварительным оценкам специалистов, связанная с этим явлением дополнительная смертность среди населения центральной части Европейской России, в пределах которой средняя температурная аномалия достигала пяти и более $^{\circ}\text{C}$, составила более 50 тыс. человек, включая около 10 тыс. жителей Москвы [1]. Катастрофическая жара была отмечена в столице небывалыми рекордами в значениях большинства метеорологических величин [2]. Так, среднемесячная температура воздуха T_{cp} в июле 2010 г. на станции МГУ составила $+26.4^{\circ}\text{C}$, что явилось наибольшим значением за всю историю регулярных инструментальных наблюдений, начиная с 1779 г., превысив прежний рекорд 2002 г. на 3°C . Это хорошо видно на рис. 1а, на котором приведен восстановленный автором совместно с Е.Л. Василенко вековой ход изменений среднемесячной тем-

пературы воздуха для июля в Москве, составленный по имеющимся у нас сводным данным наблюдений, начиная с самой первой московской станции, действовавшей в составе Мангеймской сети в конце XVIII века, а также первых измерений в Императорском Московском университете в 1810–1812 гг.

Впоследствии измерения были возобновлены в университетской обсерватории на Пресне и продолжались затем в Межевом институте, в Обсерватории имени Михельсона (ТСХА) и в современном МГУ [3]. Правда, в представленном сводном ряду отсутствуют данные за периоды 1787, 1790, 1793–1809, 1813–1815, 1818–1819 гг. и 1859 г. Однако в известных письменных источниках, содержащих качественные оценки погодных условий и обобщенных в [4], не имеется прямых свидетельств о наблюдении столь необычной жары в указанные годы. Заметим, что в летописных документах прошлого указания на сильную жару как таковую вообще встречаются значительно реже и с меньшей определенностью, нежели, к примеру, на сильные морозы зимой. Довольно надежный при сильных морозах косвенный признак коли-

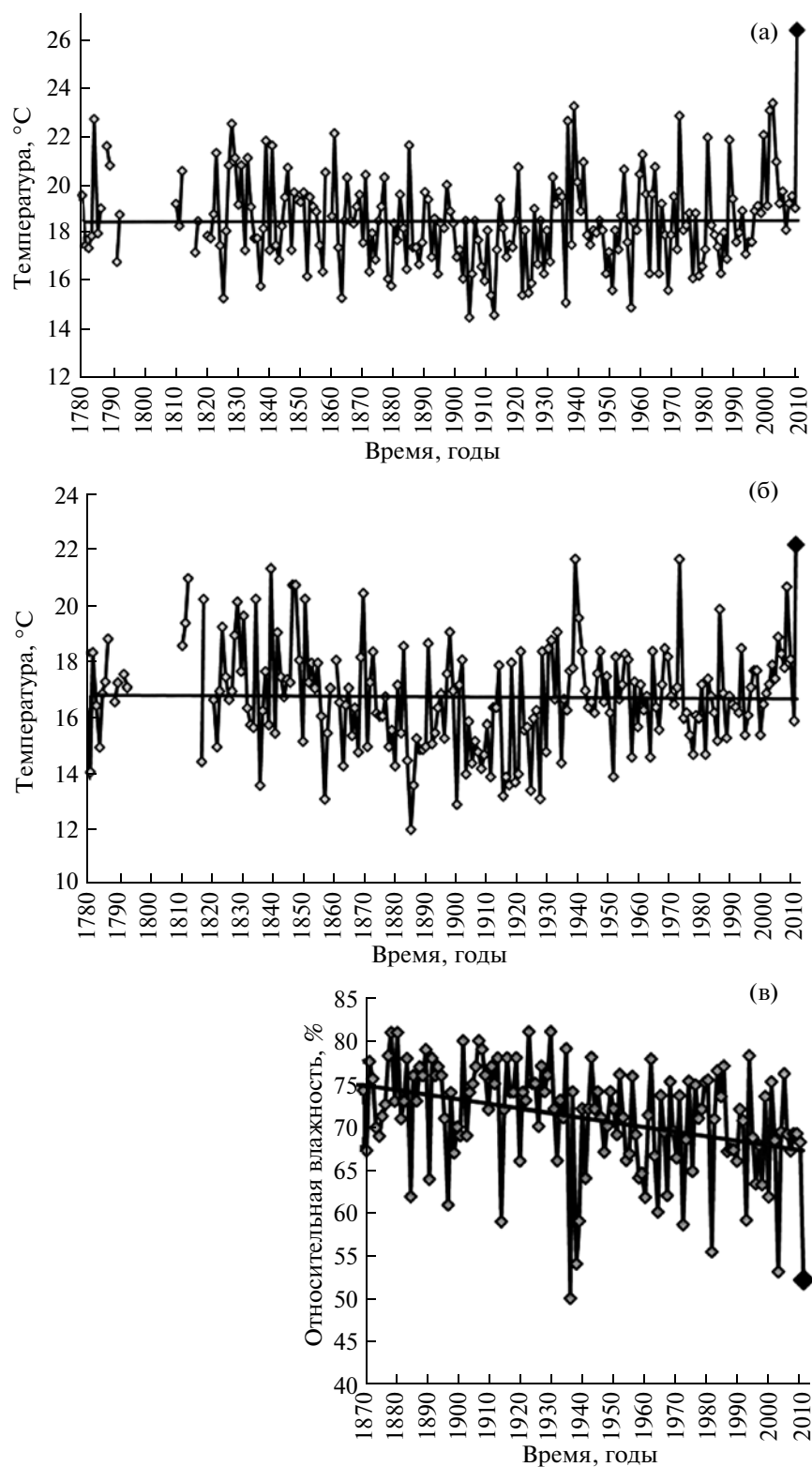


Рис. 1. Вековые изменения метеорологических величин в Москве: среднемесячной температуры воздуха в июле (а) и в августе (б); среднемесячной относительной влажности в июле (в). Серые ромбы — среднемесячные значения до 2010 г., черные ромбы — среднемесячные значения в 2010 г. Сплошные линии — линейные тренды.

качественных значений температуры воздуха (“замерзла ртуть”, т.е. наименьшая T_{\min} опускалась, очевидно, до величин менее -39°C) в летние месяцы отсутствует. Обычной характеристикой особенностей летней погоды в письменных источниках служит не жара, а засуха, которая, вообще говоря, может и не сопровождаться аномально высокой температурой воздуха. Свидетельства же о засухах в центральной части Европейской России встречаются в [4] чрезвычайно часто — например, в 36 из 50 лет в первой половине XIX века. Что же касается собственно жары в летние месяцы в центре Европейской России, то отдельные упоминания об этом содержатся в данных за 1800, 1811, 1812, 1826 и 1828 гг. Однако качественные характеристики этого явления, которыми современники сопровождали свои свидетельства (“необычайная жара”, “небывалая жара” и т.п.), зачастую не выдерживают проверки данными измерений (в тех случаях, когда они есть). Так, в 1812 г. метеорологические измерения в Императорском Московском университете прекратились лишь в конце августа, перед самым захватом города войсками Наполеона. Согласно собранным автором совместно с Е.Л. Василенко данным о температуре воздуха из тогдашних выпусков газеты “Московские ведомости”, T_{cp} составила в июле 1812 года $+20.7^{\circ}\text{C}$, а в августе $+21.0^{\circ}\text{C}$. Последнее значение, действительно, очень высокое: впоследствии еще большая T_{cp} в августе отмечалась в Москве лишь четырежды — в 1839, 1938, 1972 и 2010 гг. Однако в июле и августе предыдущего 1811 г. T_{cp} составила вполне обычные для наших широт значения соответственно $+18.4$ и $+19.4^{\circ}\text{C}$, так что характеристика этого лета в летописи тоже как “необыкновенно жаркого” не находит своего подтверждения — во всяком случае, для условий Москвы. Заметим в этой связи, что отсутствие в те времена жалюзийных будок и примитивные условия затенения термометров (расположение их близ северной стены зданий и т.п.) могли приводить к небольшому завышению температурных значений за счет влияния рассеянной солнечной радиации, но никак не наоборот. С учетом этого обстоятельства лето 1811 г. тем более не было столь жарким, каким его описывали современники.

Таким образом, среди всех лет начиная с 1780 г., когда метеорологические измерения в Москве не проводились или, во всяком случае, их результаты нам неизвестны, лишь для одного 1800 г. имеется упоминание о “чрезвычайной жаре”, которое мы достоверно проверить не можем. В Берлине и Праге летом 1800 г. наибольшая среднемесячная температура составила в августе соответственно $+18.7$ и $+18.9^{\circ}\text{C}$ — значения, далекие от экстремально высоких. Правда, при меридиональном типе циркуляции на расстояниях порядка тысячи км с запада на восток возможны значительные тем-

пературные различия в зависимости от местонахождения центра блокирующего антициклона. Тем не менее можно с большой степенью достоверности считать, что столь жаркого июля, как в 2010 г., не было на протяжении, по меньшей мере, последних 230 лет.

Вопрос же о том, когда именно в последний раз погодные условия в Москве были сходными с летом 2010 г., остается открытым. По всей видимости, это могло быть не позднее 1774 или 1757 гг., когда экстремально высокая температура воздуха отмечалась в Царицыне [4] и в Санкт-Петербурге [5]. Прямые летописные свидетельства о сильной мгле от торфяных пожаров как результате чрезвычайно жаркого и сухого лета содержатся лишь в Никоновской летописи за 1371 год (6879 год от сотворения Мира): “...Мгла велика была, яко за едину сажень пред собою не видети... Сухмень же бысть тогда велика и зной и жар мног... реки многи пересохша, и езера, и болота; а леса и боры горяху, и болота, высохши, горяху и земля горяше; и бысть страх и трепет на всех человецех” ([6]; приводится также в [5] и не дословно в [4]). Столь определенное и несомненное указание на сильную мглу вследствие торфяных пожаров, едва ли не единственное вплоть до 1972 г., косвенно подтверждает аномально высокую в тот год температуру воздуха. Заметим, что за последние десятилетия вероятность подобных пожаров в Подмосковье существенно возросла из-за нарушения режима грунтовых вод вследствие торфяных разработок. С учетом этого косвенное летописное свидетельство в пользу аномальной жары в 1371 г. тем более заслуживает внимания.

Уникальность условий лета 2010 г. подтверждается статистическим анализом. Распределение всех 206 известных нам среднемесячных значений T_{cp} в июле в Москве за период с 1780 по 2010 гг. близко к нормальному закону в соответствии с критерием Пирсона при уровне значимости 2%. Заметим, что T_{cp} до сих пор никогда не превышала среднего значения \bar{X} по всей выборке (18.6°C) даже на утроенную величину стандартного отклонения σ , и только семь раз была более $\bar{X} + 2\sigma$ (в порядке убывания — в 2002, 1938, 2001, 1972, 1784, 1936 и 1828 гг.). В июле же 2010 года T_{cp} превысила отклонение от \bar{X} не только на три, но даже на четыре σ ! Вероятность такого события, т.е. превышения квантиля 4 стандартного нормального распределения, составляет лишь 0.00003.

Август 2010 г., так же как и июль, явился самым жарким за всю историю метеорологических наблюдений: T_{cp} составила $+22.2^{\circ}\text{C}$, тогда как прежний вековой рекорд для августа составлял $+21.7^{\circ}\text{C}$ и был отмечен дважды: в 1938 и 1972 гг. (рис. 16). Заметим, что для обоих месяцев (рис. 1а и 1б) коэффициенты в уравнениях линейного тренда

Таблица 1. Число дней в 2010 г. с превышением прежних рекордных значений (за сутки) отдельных метеорологических величин за многолетний период 1966–2009 гг.; в скобках – с учетом повторений прежних рекордов

Показатель:	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Всего:
Наибольшая максимальная за сутки температура воздуха T_{\max} , °С, ¹	4 (4)	10(11)	9 (9)				23(24)
Наибольшая среднесуточная температура воздуха T , °С	4 (4)	15(16)	12(12)				31(32)
Наибольшая минимальная за сутки температура воздуха T_{\min} , °С	1 (1)	9 (9)	13(13)				23(23)
Наибольшая максимальная за сутки температура поверхности $T_{\text{п(max)}}$, °С	0 (0)	22(22)	10(10)				32(32)
Наибольшая максимальная за сутки температура грунта на глубине 20 см $T_{20(\max)}$, °С ²	0 (0)	17(17)	19(19)				36(36)
Наибольшая средняя за сутки температура грунта на глубине 20 см T_{20} , °С	0 (0)	19(20)	19(19)				38(39)
Наибольшая температура грунта на глубине 60 см T_{60} , °С	1 (2)	23(24)	21(21)				45(47)
Наибольшая температура грунта на глубине 120 см T_{120} , °С	0(0)	20(20)	31(31)	0 (1)			51(52)
Наибольшая температура грунта на глубине 240 см T_{240} , °С	12 (27)*	21(27)*	31(31)*	30 (30)	14 (18)	0 (0)	108 (133)
Наибольшая температура грунта на глубине 320 см T_{320} , °С	0 (15)	16 (27)	31 (31)	30 (30)	31 (31)	11 (23)	134 (179)**
Наибольшая максимальная за сутки упругость водяного пара e , гПа	4 (4)	3 (3)	2 (2)				9 (9)
Наименьшая минимальная за сутки относительная влажность f , %	5 (5)	10(11)	8 (9)				23(25)
Наибольший максимальный за сутки недостаток насыщения D , гПа	5 (5)	13(15)	11(11)				29(31)

Примечание. ¹ только здесь – за период 1879–2009 гг., далее всюду – за период 1966–2009 гг.; ² температура грунта здесь и далее – под естественным покровом; * без данных за 1972 г.; ** за семь месяцев (с июня по декабрь включительно).

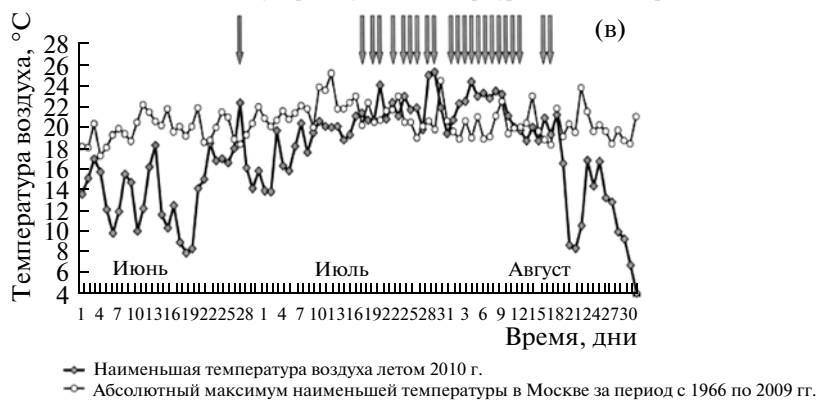
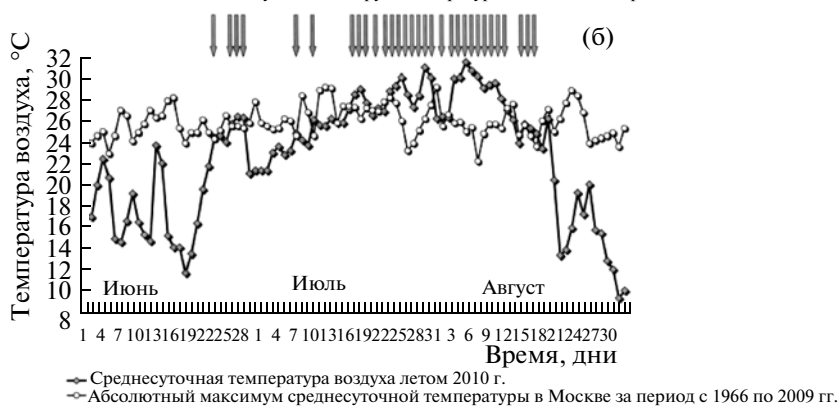
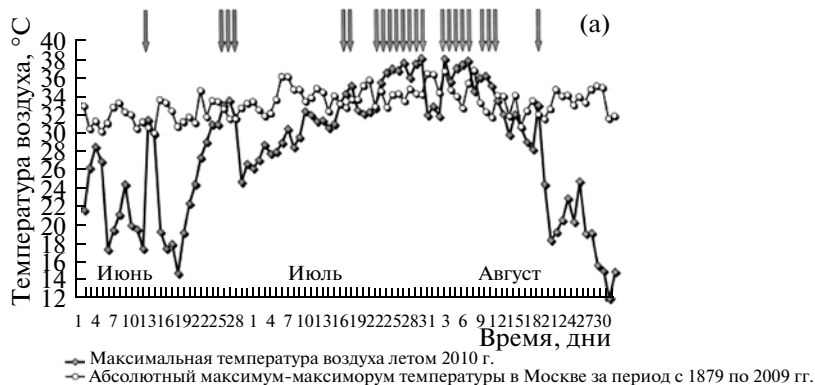
среднемесячных оценок за последние 230 лет равны нулю с точностью даже до тысячных долей °С/год, несмотря на экстремально высокие последние значения в обоих рядах. Это подтверждает, что потепление климата по сравнению с концом малого ледникового периода происходило в средних широтах главным образом в холодный период года, а устойчивое увеличение летних температур намечилось лишь в последние десятилетия.

Что касается данных за отдельные сутки, ряд наибольших значений температуры воздуха в

Москве за каждый календарный день года опубликован в [7] за период 1879–2001 гг. и продлен автором по данным станции МГУ вплоть до 2010 г. Как видно из табл. 1 и из рис. 2, летом 2010 г. максимальная температура воздуха T_{\max} в МГУ 23 раза (четырежды в июне, десять раз в июле и девять раз в августе) превысила вековые рекордные значения для отдельных дней за период 1879–2009 гг. Впервые это случилось 12 июня, последний раз – 18 августа. Еще один раз, 15 июля, максимальная температура воздуха на станции МГУ (+33.2°С)

Рис. 2. Рекордные значения метеорологических величин летом 2010 г. в Москве: наибольшая температура воздуха (а); среднесуточная температура воздуха (б); наименьшая температура воздуха (в); наибольшая температура поверхности почвы (г); температура грунта под естественным покровом на глубине 60 см (д); температура грунта под естественным покровом на глубине 120 см (е); температура грунта под естественным покровом на глубине 240 см (ж); температура грунта под естественным покровом на глубине 320 см (з); наибольшая упругость водяного пара (и); наименьшая относительная влажность (к); наибольший недостаток насыщения (л).

На всех фрагментах серые ромбы – значение за каждый день 2010 г.; белые кружки – рекордные значения за многолетний период (на фрагменте (а) – с 1879 по 2009 гг.; на всех остальных фрагментах – с 1966 по 2009 гг.). На всех фрагментах кроме (к) ((а) – (и) и (л)) в качестве рекордных приведены наибольшие значения, на фрагменте (к) – наименьшие значения. Серыми стрелками показаны все дни с перекрытием в 2010 г. многолетних рекордов (на фрагменте (к) – значения меньше рекордных, на всех остальных фрагментах – значения больше рекордных). Белыми стрелками на фрагментах (г), (к) и (л) показаны также противоположные по значению рекорды.



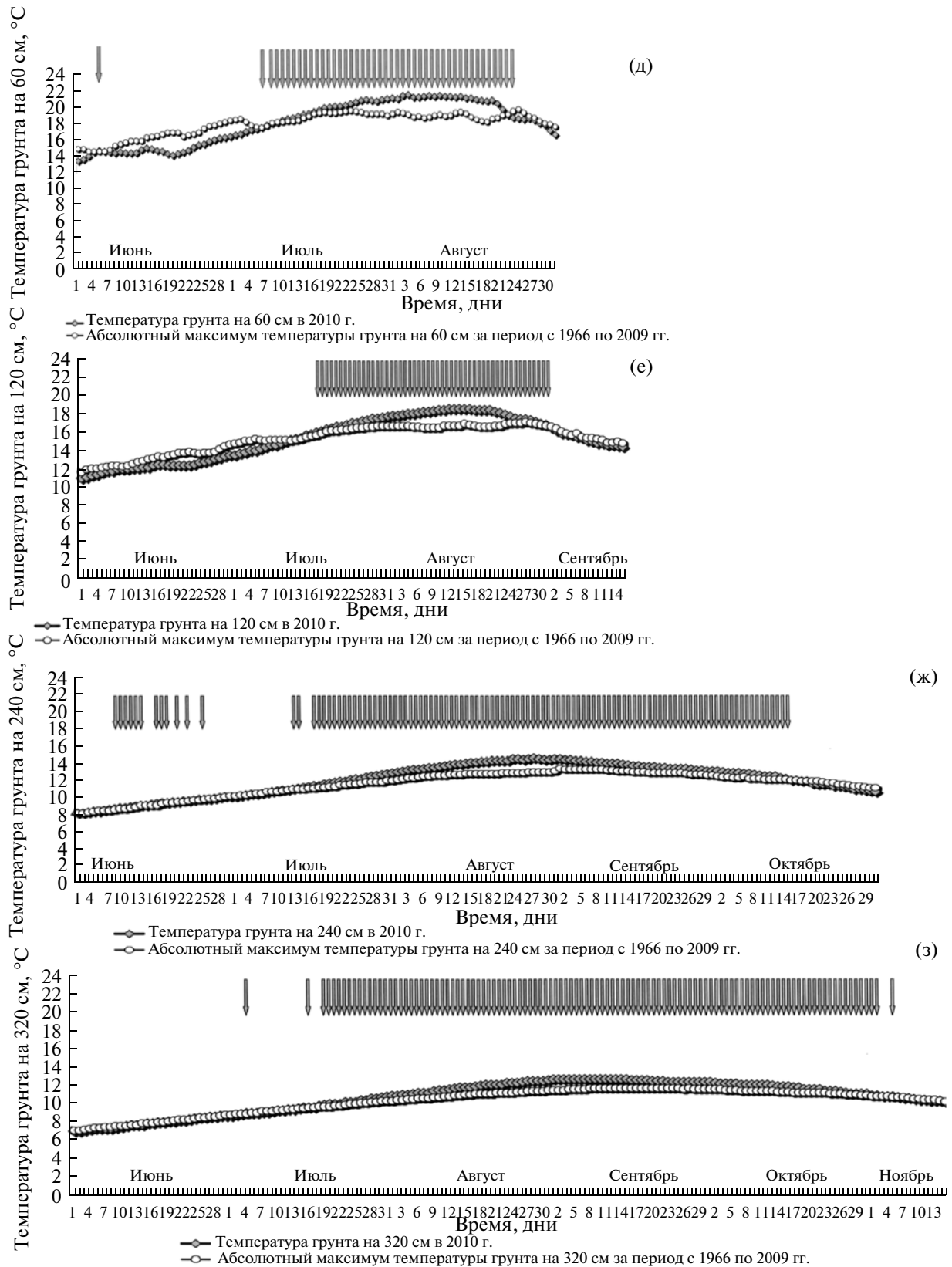


Рис. 2. Продолжение.

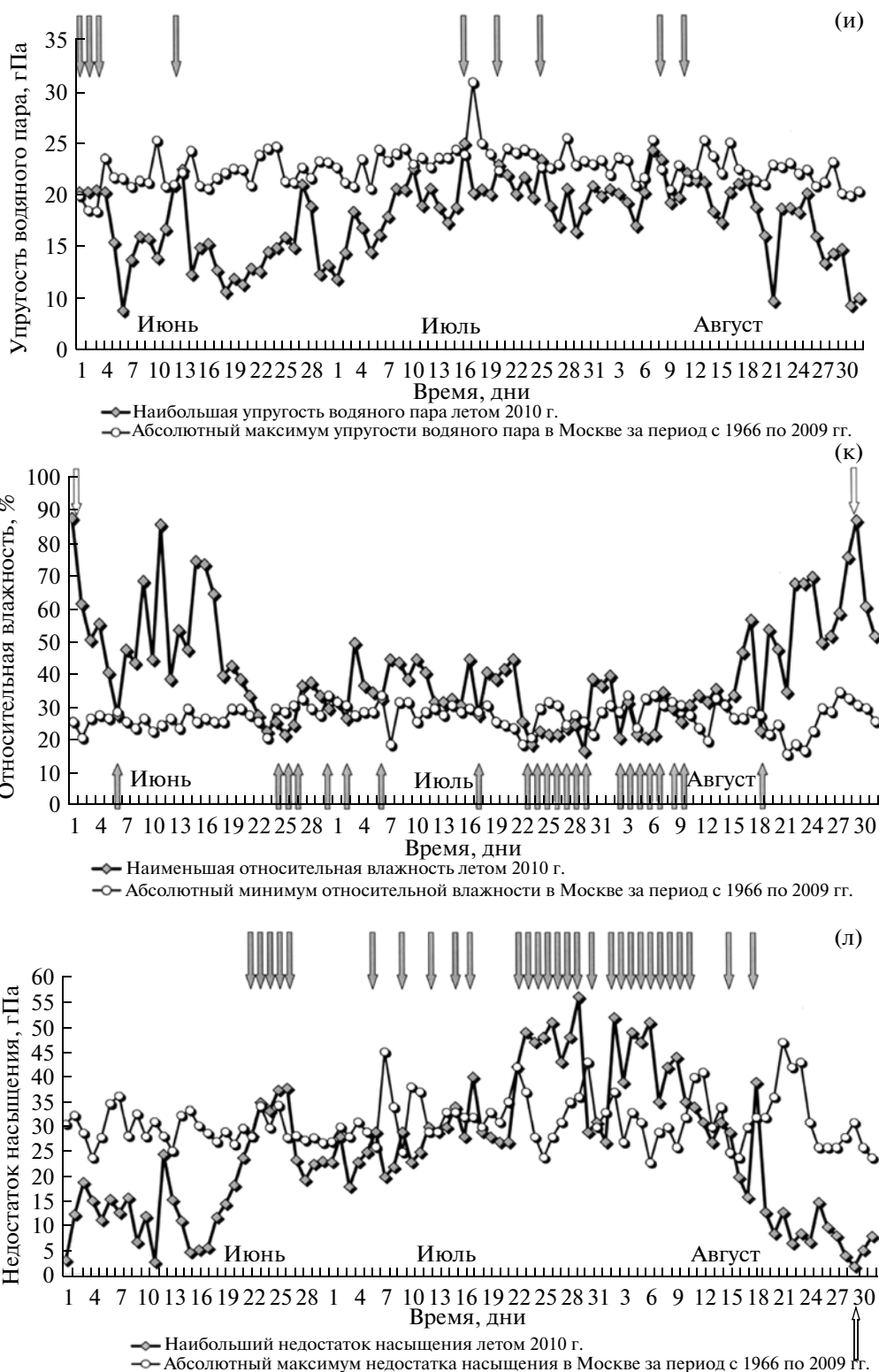


Рис. 2. Окончание.

совпала с предыдущим рекордом для этого дня. Столь большое количество новых суточных рекордов само по себе небывалое, хотя, разумеется,

речь идет об одной и той же погодной аномалии. Напомним, что в 1972 г., тоже очень жарком, абсолютные рекорды T_{\max} для отдельных дней были

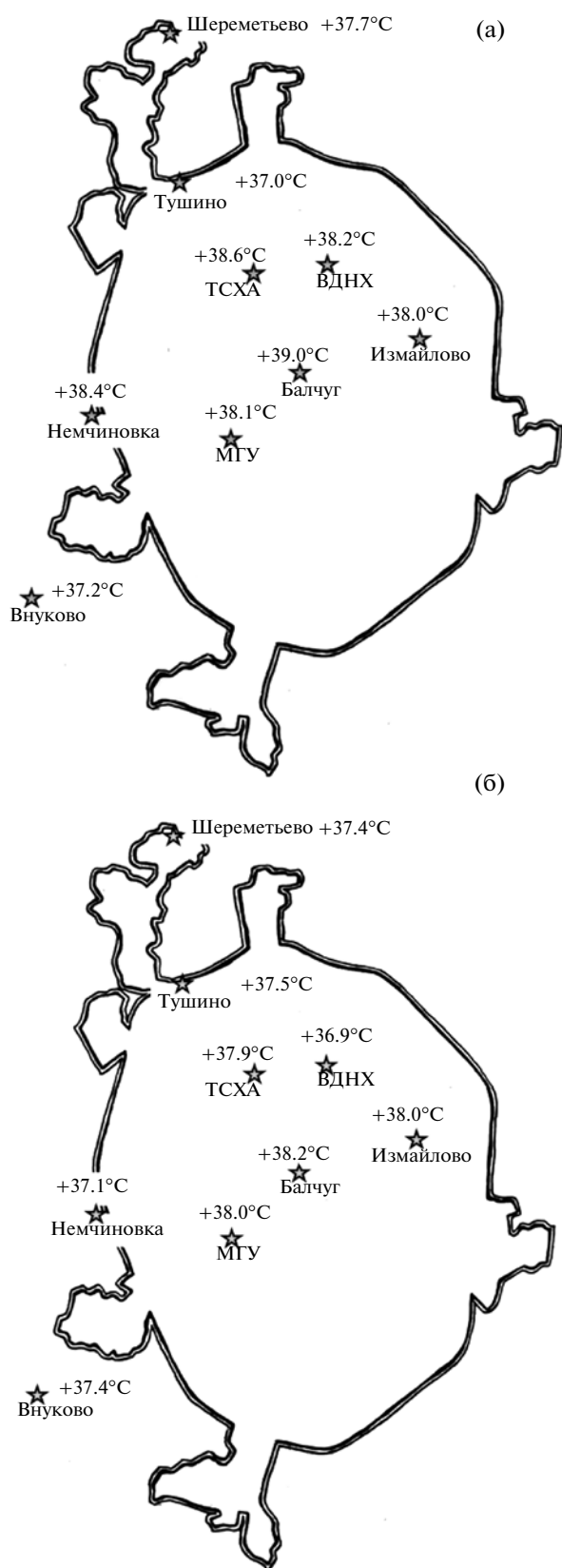


Рис. 3. Наибольшая температура воздуха в Москве: а – 29 июля 2010 г.; б – 02 августа 2010 г. Двойными линиями показаны контуры Москвы; звездочками – места нахождения метеорологических станций.

превышены в Москве лишь 12 раз: 4 раза в июле и 8 раз в августе [5]. Как видим, число новых суточных рекордов T_{\max} в 2010 г. оказалось вдвое больше, несмотря на существенно более длинный ряд измерений этого показателя по сравнению с 1972 г. Вообще, с мая по август за период с 2002 по 2009 гг. вековые рекорды T_{\max} на станции МГУ были превышены лишь десять раз и только в 2007 г.: семь раз – в конце мая и три раза – в августе. Летом же 2002 г., несмотря на сильную жару и новый вековой рекорд средней температуры за июль в целом, для отдельных дней ни один вековой рекорд не был превзойден. Сказанное выше дает представление о том, насколько уникально само по себе повторение или превышение суточных вековых рекордов в течение 24 дней летом одного года.

Эпизоды рекордной жары летом 2010 г. отмечались в столице семь раз с шестью небольшими перерывами, связанными с временными ослаблениями блокирующего антициклона и (или) обусловленной им теплой адвекции. Долше всего абсолютные рекордные значения T_{\max} отмечались непрерывно в течение восьми дней подряд – с 22 по 29 июля. Последний день этой серии – 29 июля – явился самым жарким днем в Москве за последние 132 года: максимальная температура воздуха составила в МГУ +38.1°C, значительно превзойдя все наблюдавшиеся доселе значения. В этот день пал прежний вековой рекорд (+36.8°C), отмеченный в Москве еще 07 августа 1920 г. и продержавшийся целых девяносто лет (табл. 2). Как видно на рис. 3а), на трех остальных метеостанциях в пределах ближайшей к центру периферии города значения T_{\max} оказались 29 июля очень близкими, с точностью всего до нескольких десятых долей °C. Лишь на станции Балчуг в самом центре столицы T_{\max} составила +39.0°C, но данное превышение, скорее всего, обусловлено влиянием городского “острова тепла”, а также локального фактора – очень плотной и близкой к этой станции городской застройки. Примечательно, что температура воздуха в столице впервые в истории инструментальных измерений достигла 100°F и впервые существенно превысила температуру тела здорового человека. Спустя несколько дней, второго августа, значение T_{\max} вплотную приблизилось к новому абсолютному максимуму, составив +38.0°C. Как видно на рис. 3б), в этот день, вскоре после прохождения теплого фронта, распределение T_{\max} в Москве уже не столь однозначно соответствовало конфигурации городского “острова тепла”, как в условиях более однородной воздушной массы 29 июля.

Добавим для сравнения с другими годами, отмеченными тоже очень жаркой летней погодой, что наибольшие значения T_{\max} в Москве составили в 1972 г. +34.8, в 1981 г. +34.6, в 2002 г. +33.4 и в 2007 г. +33.8°C.

Таблица 2. Рекордные значения до 2010 г. по ежесуточным данным за многолетний период (1966–2009 гг.); в скобках – рекордные значения за 2010 г.

Показатель	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Итого:
Наибольшая максимальная за сутки температура воздуха T_{\max} , °C ¹	34.7 (33.6)	36.5 (38.1)	36.8 (38.0)				36.8 (38.1)
Наибольшая среднесуточная температура воздуха T , °C	28.1 (26.3)	29.1 (30.9)	28.8 (31.4)				29.1 (31.4)
Наибольшая минимальная за сутки температура воздуха T_{\min} , °C	22.2 (22.4)	25.2 (25.3)	23.8 (24.4)				25.2 (25.3)
Наибольшая максимальная за сутки температура поверхности $T_{\text{п(мак)}}$, °C	58.8 (53.7)	59.2 (62.3)	52.9 (58.0)				59.2 (62.3)
Наибольшая максимальная за сутки температура грунта на глубине 20 см $T_{20(\text{мак})}$, °C ²	24.3 (21.0)	25.2 (26.4)	24.8 (26.0)				25.2 (26.4)
Наибольшая средняя за сутки температура грунта на глубине 20 см T_{20} , °C	22.9 (19.4)	23.7 (25.0)	23.3 (24.8)				23.7 (25.0)
Наибольшая температура грунта на глубине 60 см T_{60} , °C	18.3 (16.3)	19.5 (21.0)	19.6 (21.3)				19.6 (21.3)
Наибольшая температура грунта на глубине 120 см T_{120} , °C	14.5 (13.3)	16.5 (17.5)	16.9 (18.3)	16.4 (16.3)			16.9 (18.3)
Наибольшая температура грунта на глубине 240 см T_{240} , °C	10.2* (10.1)	12.0* (12.9)	13.1* (14.6)	13.4 (14.5)	12.5 (13.1)		13.4 (14.6)
Наибольшая температура грунта на глубине 320 см T_{320} , °C	8.9 (8.8)	10.4 (10.9)	11.6 (12.7)	11.8 (12.8)	11.7 (12.5)	10.9 (11.0)	11.8 (12.8)
Наибольшая максимальная за сутки упругость водяного пара e , гПа	25.3 (22.5)	30.8 (25.0)	25.3 (24.3)				30.8 (25.0)
Наименьшая минимальная за сутки относительная влажность f , %	20 (21)	18 (16)	15 (20)				15 (16)
Наибольший максимальный за сутки недостаток насыщения D , гПа	36 (38)	45 (56)	47 (52)				47 (56)

Примечание. ¹ только здесь – за период 1879–2009 гг., ниже всюду – за период 1966–2009 гг.; ² температура грунта здесь и далее – под естественным покровом; * без данных за 1972 г.

Еще одно близкое к рекордному значение в 2010 г. связано с годовой амплитудой температуры воздуха, т.е. с разностью ее абсолютного максимума и абсолютного минимума в течение года. Эта разность достигла в 2010 г. 63.8°C , что оказалось третьим по величине значением в Москве за последние 57 лет. Лишь в 1956 и 1978 гг. годовая амплитуда была в МГУ еще больше (соответственно 66.6 и 65.9°C) за счет аномально холодных зим в те годы с T_{\min} соответственно -35.6 и -38.4°C . Абсолютный же диапазон возможных изменений температуры воздуха в Москве за последние 130 лет с учетом рекордных морозов в январе 1940 года (-42.1°C) и катастрофической жары в июле–августе 2010 г. впервые превысил значение 80°C .

Рекордными летом 2010 г. оказались значения не только максимальной, но и среднесуточной температуры воздуха $T_{\text{ср.-сут.}}$, которая впервые за последние 45 лет достигла и даже превысила значение $+30^{\circ}\text{C}$, причем в течение целых семи дней. Всего в течение лета 2010 г. суточные полувексовые рекорды среднесуточной температуры были превышены 31 раз; четвертого же августа $T_{\text{ср.-сут.}}$ составила новое рекордное значение для Москвы: $+31.4^{\circ}\text{C}$ (предыдущий рекорд 11 июля 1996 г. составлял $+29.1^{\circ}\text{C}$).

Наименьшая же за сутки температура воздуха T_{\min} летом 2010 г. лишь 23 раза превысила максимальные значения этого показателя для отдельных ночей за весь период восьмисрочных наблюдений с 1966 г. Максимальное значение T_{\min} ($+25.3^{\circ}\text{C}$), так же как и максимальное значение T_{\max} , наблюдалось 29 июля. Это всего на 0.1°C больше по сравнению с прежним абсолютным рекордом, отмеченным 12 июля 1996 г. Меньшее по сравнению с $T_{\text{ср.-сут.}}$ число суточных рекордов наименьшей температуры, по всей видимости, объясняется ярко выраженным антициклональным характером погоды и, как следствие, сильным радиационным излучением подстилающей поверхности в ясные ночи.

2. РЕКОРДНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ И ГРУНТА

Наибольшая температура поверхности почвы $T_{\text{П(max)}}$ в Москве (в МГУ) летом 2010 г. 32 раза (22 в июле и 10 в августе) превысила прежние максимумы для отдельных дней за почти полувековой период наблюдений 1966–2009 гг., достигнув 17 июля значения $+62.3^{\circ}\text{C}$ (прежний абсолютный рекорд составлял в июле 2001 г. $+59.2^{\circ}\text{C}$).

Максимальная температура грунта на глубине 20 см $T_{20(\text{max})}$ (здесь и далее – в МГУ под естественным покровом) 36 раз, 17 раз в июле и 19 раз в августе, превысила прежние рекорды для отдельных дней, начиная с 1966 г., впервые достиг-

нув 24 июля значения $+26.4^{\circ}\text{C}$ (прежний рекорд составлял в 2002 году $+25.2^{\circ}\text{C}$). Заметим, что, в отличие от приземного воздуха и поверхности, рекордные значения температуры на глубине 20 см отмечались непрерывно 34 дня подряд, и только 20 августа значение $T_{20(\text{max})}$ оказалось, наконец, меньше, чем в этот день в 1972 г. Непрерывность суточных рекордов на глубинах грунта связана с тепловой инерцией, сглаживавшей изменения температуры у поверхности при кратковременных ослаблениях жары. Для сравнения с нижележащими глубинами 60 см и ниже, где измерения проводятся лишь один раз в сутки, в табл. 1 и 2 приведены также данные о превышении среднесуточной температуры T_{20} – очень близкие к $T_{20(\text{max})}$ по числу рекордных дней. Примечательно, что прежние абсолютные рекордные значения температуры были существенно превышены на всех без исключения глубинах: на величину от 1.7°C на уровне 60 см до 1.0°C на самом нижнем уровне измерений 320 см. Окончание проявления катастрофической жары 2010 г. в грунте вполне закономерно запаздывает с увеличением глубины. Если на глубине 20 см последний суточный рекорд как наибольшей, так и среднесуточной температуры наблюдался 19 августа (всего через сутки после окончания жары в приземном слое воздуха и на поверхности), то на глубине 60 см последний рекорд был отмечен 21 августа; на 80 см – 23 августа; на 120 см – 31 августа. На глубине 160 см последнее рекордное значение измерено 29 сентября, хотя в последующие три дня значение T_{160} еще повторяло прежние рекорды. На глубине 240 см последний суточный рекорд наблюдался 14 октября, а последнее повторение рекордов 2006 г. – 18 октября. Заметим, что наибольшие в прошлом значения на этих глубинах с июля по сентябрь наблюдались, как правило, в очень жаркие 1981 и 1972 гг. Что касается уровня 320 см, то здесь тепловая волна, связанная с катастрофической жарой, продлилась значительно дольше. Значение T_{320} впервые опустилось до уровня отмеченных ранее (в 2006 г.) наибольших значений лишь 3 ноября. Впрочем, к началу третьей декады ноября T_{320} вновь оказалась наибольшей с 1966 г. и оставалась таковой вплоть до 15 декабря, а повторения прежних рекордных значений продолжались даже до 24 декабря! В результате, число дней с рекордно высокой температурой грунта на глубине 320 см составило с июня по декабрь 2010 г. 134 дня, в том числе 108 дней – непрерывно, а с учетом повторений прежних рекордных значений – целых полгода (179 дней)! Как видно из табл. 1, с увеличением глубины число суточных рекордов устойчиво возрастает, а запаздывание их окончания замедляется: начиная с уровня поверхности, дата последнего рекорда увеличивается через каждые следующие

120 м сначала на 13, затем — на 44 дня. Возникают, таким образом, кажущиеся противоречия со вторым законом Фурье, согласно которому запаздывание любых температурных изменений — как начала, так и конца любой аномалии — должно происходить пропорционально глубине. Однако здесь нужно учесть, что, во-первых, сам по себе ход рекордных в прошлом значений для отдельных дней неравномерный во времени (рис. 2). Во-вторых, нельзя исключить локальную неоднородность среды грунта и изменение его теплопроводности на разных глубинах. Наконец, в результате очень теплой весны 2010 г. фон температуры на глубинах 240 и 320 см еще до начала летней жары вплотную приблизился к рекордно высоким величинам. Так, температура грунта на 240 см уже в конце мая повторяла прежние рекорды, а 7 июня впервые их превысила. На глубине 320 см температура к концу мая 2010 г. вышла на второе по значениям место, а к началу второй декады июня уже повторяла прежние рекорды 1975 и 1983 гг. Иначе говоря, связанная с летней жарой тепловая волна на глубине 320 см лишь дополнительно усилила и без того уже очень высокие значения T_{320} , близкие к рекордным. Этим и объясняется непропорциональность времени окончания аномального тепла в грунте его глубине. В тепловой аномалии на больших глубинах трудно однозначно разделить отдельное влияние весеннего тепла и наступившего вскоре жаркого лета. Столь продолжительная аномалия могла существенно повлиять на биологические процессы подземной экосистемы, включая интенсивность корневого дыхания растений и состояние подземной фауны.

Заметим, что вытяжные почвенно-глубинные термометры установлены в Метеорологической обсерватории МГУ также и на специальном оголенном участке площадью 12×20 м [7, 8]. Однако здесь изменения температуры с глубиной происходили быстрее, нежели на участке под естественным покровом, где слой плотной корневой дернины играет теплоизолирующую роль. Так, на глубине 320 см на оголенном участке последний суточный рекорд температуры грунта наблюдался уже 16 сентября, т.е., на полтора месяца раньше, чем под естественным покровом.

3. ПОКАЗАТЕЛИ АТМОСФЕРНОЙ ВЛАЖНОСТИ

Ряды имеющихся у нас данных о вековых изменениях показателей влажности короче по сравнению с данными о температуре воздуха — лишь с 1870 г. (данные по станциям Межевой институт, Обсерватория имени Михельсона (ТСХА) и Метеорологическая обсерватория МГУ). В соответствии с этими данными среднемесячная относительная влажность f_{cp} в июле 2010 г. составила 52% (рис. 1в). Это значение на 1% меньше, чем в

июле 2002 г., однако абсолютный вековой рекорд относительной влажности устоял: в 1936 г. f_{cp} составила 50%. Заметим попутно, что основным вековым направлением изменения относительной влажности в Москве является ее устойчивое уменьшение со временем [9].

Тропический воздух, поступавший в центр Европейской России по периферии блокирующего антициклона, был довольно сухим, так что упругость водяного пара e не показала значительных превышений по сравнению с прежними рекордными значениями, — несмотря на, очевидно, большее влагосодержание в воздухе с аномально высокой температурой. После начала жары дневной максимум e_{max} в МГУ в июле и августе 2010 г. лишь пять раз ненамного превысил максимумы за отдельные дни по данным последних 45 лет, оставшись, впрочем, далеко позади абсолютного максимума этого показателя для станции МГУ (30.8 гПа), отмеченного 17 июля 2001 г. Напротив, наименьшая за день относительная влажность f_{min} летом 23 раза оказывалась меньше минимума для конкретного дня за тот же период. Однако абсолютный минимум f_{min} на станции МГУ, составивший 15% и отмеченный 21 августа 1972 г., остался непревзойденным: наименьшее значение относительной влажности в 2010 г. оказалось чуть больше (16% 29 июля). Как видим, тропический воздух летом 2010 г. в Москве был в большей степени именно аномально жарким, нежели аномально сухим. Наибольший недостаток насыщения D_{max} целых 29 раз превысил в МГУ прежние суточные рекорды, а еще дважды их повторил. При этом превышение было весьма существенным — так, своеобразным курьезом выглядит превышение 25 июля прежнего рекордного значения (24 гПа в этот день в 1981 г.) ровно вдвое — 48 гПа! Очевидной причиной столь больших значений этого комплексного показателя служит, прежде всего, аномально высокая температура воздуха. Величина D_{max} достигла 29 июля 56 гПа, тогда как прежний максимум этого показателя за 45 лет составлял в МГУ лишь 47 гПа по данным 21 августа 1972 г.

Интересно также отметить противоположные рекорды после окончательного разрушения блокирующего антициклона, показанные на рис. 2 белыми стрелками. Так, в МГУ при очень холодной и сырой погоде 29 августа f_{min} оказалась, напротив, рекордно большой (86%), а D_{max} — рекордно малым (2.1 гПа) с 1966 г. На следующий день уже максимальная температура поверхности стала рекордно низкой за все последние 45 лет.

4. ОСАДКИ, ИСПАРЕНИЕ, ДАВЛЕНИЕ И ВЕТЕР

Что касается осадков, то их количество в Москве составило в июле 2010 г. на станции МГУ лишь 7.4 мм. Имеется многолетний ряд данных о месячных суммах выпавших осадков в Москве, использованный ранее для анализа вековых изменений этого показателя в [10]. Самые ранние известные автору данные о количестве осадков в Москве получены ректором Императорского Московского университета И.А. Двигубским в 20-е годы XIX века и приведены в [11]. Данные о месячных суммах осадков Константиновского Межевого института за периоды с 1853 до 1858 и с 1860 до 1893 гг. опубликованы в [12], в Обсерватории имени Михельсона (ТСХА) за период с 1879 по 1960 гг. — в [13]. Начиная же с 1954 г., автором использованы данные МГУ. Согласно этому сводному ряду данных, столь малого количества осадков — 7.4 мм — не наблюдалось в Москве в июле никогда за всю историю метеорологических измерений; предыдущий рекорд составлял 11.2 мм в июле 1997 г. Скажем больше: столь малого количества осадков не отмечалось вообще ни в одном из летних месяцев за все время существования Метеорологической обсерватории МГУ, начиная с 1954 г. Заметим, что здесь для сравнений, в отличие от [10], использованы исходные данные измерений в прошлом — без учета введенной в 1966 г. поправки на смачивание, без приведения показаний дождемеров к современным осадкомерам Третьякова О-1 с учетом отсутствия в дождемерах Императорского Московского университета и Межевого института защиты Нифера, появившейся позднее. Следует также учесть, что в Константиновском Межевом институте измерения осадков производились не четырежды в день, как ныне, а лишь один раз в сутки утром, так что часть пробы в дождемере могла теряться вследствие испарения. Вероятно, систематическое занижение количества осадков по той же причине присутствует и в данных И.А. Двигубского за период 1820–1828 гг., хотя в [11] и содержится косвенное предположение об измерениях в те годы осадков вскоре после окончания каждого дождя. Так или иначе, с учетом всех трех перечисленных обстоятельств, действительное количество осадков в XIX веке было заведомо больше измеренных значений. Следовательно, месячная сумма в июле 2010 г. является тем более рекордно низкой. Если же говорить об абсолютном рекорде наименьшего за месяц количества осадков в летнее время года, то он составляет для Москвы лишь 1 мм и был отмечен в августе 1938 г. на станции ТСХА. Примечательно, что именно в августе 1938 г., как уже отмечено выше, наблюдалась и ре-

кордно высокая в прошлом среднемесячная температура воздуха для этого месяца.

Как уже отмечено нами, лето 2010 г. в Москве характеризовалось в большей степени аномально высокой температурой воздуха, нежели его низким влагосодержанием. Возможно, дополнительной причиной столь малого количества осадков в июле явилось динамическое влияние блокирующего антициклона — связанные с ним приподнятые инверсии оседания, препятствовавшие развитию восходящих воздушных токов. В результате сильнейшей засухи к началу августа в московском регионе возникли массовые очаги возгорания и, как следствие, — сильная дымная мгла.

Метеорологическая обсерватория МГУ является единственной станцией в Москве, где, помимо прочего, измеряется также испарение (фактически — испаряемость с ограниченной водной поверхности площадью 3000 см²) с помощью испарометра ГГИ-3000. Неудивительно, что летом 2010 г. наибольшее суммарное за сутки значение этого показателя было отмечено именно 29 июля, в самый жаркий день: 4.3 мм. Осадков в этот день не было, так что ошибка измерения вследствие перелива воды через стенки сосуда исключена. Однако полученное значение, хотя и велико, но далеко от рекордно высоких значений в некоторые другие годы [14].

В условиях преимущественного нахождения Москвы летом 2010 г. на ближней периферии обширного блокирующего антициклона (западнее его центра) неудивительны высокие значения атмосферного давления. В среднем за июль оно составило по станции МГУ 993.8 гПа, что оказалось близко к рекордно высоким среднемесячным значениям. За последние 45 лет, начиная с 1966 г., среднее атмосферное давление здесь в июле лишь четырежды было еще выше, чем в 2010 г. Рекорд же составляет 994.5 гПа и отмечен в 2002 г., тоже очень жарком. Примечательно, что наименьшее атмосферное давление, отмеченное в июле 2010 г., также оказалось очень высоким: 986.1 гПа. За 45 лет лишь один раз, в 2001 г., минимум в июле был еще выше: 987.3 гПа. В среднем же за август 2010 г., благодаря разрушению блокирующего антициклона и возобновлению циклонической активности во второй половине месяца, атмосферное давление оказалось уже совершенно обычным: лишь 990.1 гПа.

Среднемесячная скорость ветра в июле 2010 г. по данным станционного анеморумбометра на уровне 15 м в МГУ оказалась рекордно низкой для июля за все 45 последних лет — всего 1.5 м/с. Это вполне ожидаемо с учетом частого нахожде-

ния Москвы в сравнительно малоградиентном барическом поле вблизи центра антициклона. Следует, однако, заметить, что ряд данных о скорости ветра в МГУ, как и на многих других городских станциях, не полностью однородный. Кажущееся подчас ослабление ветра со временем часто объясняется уплотнением городской застройки и появлением в окрестностях станции новых зданий [8]. Поэтому привлечем к нашему анализу также данные доплеровского акустического локалатора (содара) “MODOS” производства немецкой фирмы МЕТЕК, работающего в МГУ с 2004 г. Согласно содарным данным, средняя скорость ветра V над Москвой в слое воздуха от 40 до 200 м составила в июле 2010 г. лишь 4.0 м/с – почти рекордно низкое значение. За все шесть последних лет зондирования с помощью содара “MODOS” среднемесячная V только два раза, в феврале 2006 г. и в июле 2009 г., была еще меньше – 3.9 м/с. Таким образом, действительно, июль 2010 г. выдался исключительно тихим месяцем, несмотря на очевидно сильную адвекцию тепла. В этой связи примечательно, что самым ветреным июльским днем в 2010 г. по данным как стационарного флюгера, так и содара, оказалось именно 29 число: средняя V за этот день составила 2.4 м/с на уровне 15 м и 7.1 м/с в слое от 40 до 200 м. Вероятно, связанное с этим усиление теплой адвекции определило столь высокие значения температуры воздуха. Согласно тем же содарным данным, в слое воздуха от 40 до 500 м в июле 2010 г. преобладало юго-восточное направление ветра, что вполне ожидаемо с учетом частого нахождения Москвы на юго-западной периферии антициклона.

Приведенные выше сведения касаются стандартных метеорологических величин – именно в этом автор видел свою задачу. Помимо них, в Метеорологической обсерватории МГУ летом 2010 г. были также отмечены рекордные значения целого ряда актинометрических показателей – в частности, аэрозольной оптической толщины и пр. [15]. Однако их обсуждение выходит за рамки настоящей работы. Она является развитием [2] и выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 10-05-01130).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ревич Б.А. Горячее лето 2010 г. и смертность населения Европейской части России // Тезисы Всероссийского совещания “Состояние воздушного бассейна г. Москвы в экстремальных погодных условиях лета 2010 г.”. М.: ИФА РАН, 2010. С. 34.
2. Локощенко М.А. Данные наземных метеорологических наблюдений в Москве во время катастрофической жары 2010 года // Тезисы Всероссийского совещания “Состояние воздушного бассейна г. Москвы в экстремальных погодных условиях лета 2010 г.”. М.: ИФА РАН, 2010. С. 8–9.
3. Lokoshchenko M.A., Vasilenko E.L. Change of air temperature in Moscow during last two and quarter centuries // Proceedings of the Seventh International Conference on Urban Climate (ICUC-7), Yokohama, Japan, 2009, paper index: B8-5.
4. Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М.: Мысль, 1988. 524 с.
5. Кац А.Л. Необычное лето 1972 года. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. 60 с.
6. Полное собрание русских летописей. Т. 11. М.: Языки русской культуры, 2000. (Репринт издания СПб., 1897).
7. Справочник эколого-климатических характеристик г. Москвы. Т. 1. / Под редакцией А.А. Исаева. М.: МГУ, 2003. 302 с.
8. Локощенко М.А. О метеорологических наблюдениях в обсерватории МГУ и их показательности с учетом местных условий // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 2005. № 6. С. 25–31.
9. Василенко Е.Л., Локощенко М.А. Вековые изменения показателей влажности в Москве // Тезисы докладов XIII международной конференции молодых ученых “Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические процессы”. М.: ИФА РАН, 2009. С. 22–23.
10. Локощенко М.А., Исаев А.А. О вековых изменениях годового количества осадков в г. Москве // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 2004. № 5. С. 42–46.
11. Спасский М.Ф., Страхов П.И. Избранные работы по физике атмосферы. М.-Л.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1951. 344 с.
12. Афанасьев Н.П. Осадки и снежный покров в Москве. М.: Городская типография, 1893. 26 с.
13. Исаев А.А., Гутников В.А., Шерстюков Б.Г. Научно-прикладной справочник по климату Москвы. М.: Изд-во МГУ, 2002. 156 с.
14. Локощенко М.А. Климатические закономерности испарения в Москве // Метеорология и гидрология. 2005. № 4. С. 30–39.
15. Чубарова Н.Е., Горбаренко Е.В., Константинов П.И. Метеорологические, аэрозольные и радиационные характеристики атмосферы во время пожаров летом 2010 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ // Тезисы Всероссийского совещания “Состояние воздушного бассейна г. Москвы в экстремальных погодных условиях лета 2010 г.”. М.: ИФА РАН. С. 11.

Catastrophic Heat of 2010 in Moscow from Data of Ground-Based Meteorological Measurements

M. A. Lokoshchenko

Moscow State University, Moscow, 119991 Russia

e-mail: loko@geogr.msu.ru

Received May 5, 2011; in final form, October 17, 2011

Abstract—The results of meteorological ground-based observations in Moscow (mainly at Moscow State University (MSU)) in summer 2010 are discussed. It is shown that the anomalous heat of 2010 has no analogs in the history of meteorological observations in the Russian capital in either the record-breaking values themselves or in their duration. Both the secular records of the monthly mean air temperatures in July and August over the past 230 years and the absolute temperature maximum over the past 130 years were exceeded. For the first time in the history of regular meteorological measurements, the maximal air temperature in Moscow exceeded $+38^{\circ}\text{C}$, the diurnal mean temperature exceeded $+30^{\circ}\text{C}$, the monthly mean temperature exceeded $+26^{\circ}\text{C}$, the soil surface temperature exceeded $+60^{\circ}\text{C}$, and the deficit of water vapor saturation exceeded 50 hPa. On the whole, the tropical air, which dominated in Moscow, was to a larger degree anomalously hot than anomalously dry. The least relative humidity during the catastrophic heat (16%) only approached the historical minimum (15%). For the first time in the history of measurements, the amount of precipitation in July 2010 was only 7.4 mm. In total, such conditions were responsible for the appearance of mass ignition centers in the Moscow region and, as a consequence, of dense smog. The record-breaking ground temperatures over the past 45 years associated with the catastrophic heat were noted at a depth of 320 cm up to the end of 2010.

Keywords: catastrophic heat, air temperature, precipitation, ground temperature, secular records, blocking anticyclone, “heat island”.