

УДК 551.584.5

## МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В КАЗАНИ

*М.А. Верещагин, Ю.П. Переведенцев, Э.П. Наумов,  
К.М. Шанталинский, Ф.В. Гоголь*

### Аннотация

В статье анализируются многолетние изменения температуры воздуха и атмосферных осадков в Казани и их проявления в изменениях других показателей климата, имеющих прикладное значение и повлекших определенные изменения городской экологической системы.

---

Интерес к изучению городского климата остается неизменно высоким [1, 2, 9]. Большое внимание, уделяемое проблеме городского климата, определяется рядом обстоятельств. Среди них, в первую очередь, следует указать на становящиеся все более очевидными значительные изменения климата городов, зависящие от их роста [7]. Во многих исследованиях указывается при этом на тесную зависимость климатических условий города от его планировки, густоты и этажности городской застройки, условий размещения промышленных зон [3, 15] и др.

Климат Казани в его квазиустойчивом («среднем») проявлении уже не раз был предметом обстоятельного анализа научных сотрудников кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского государственного университета [5, 6]. Вместе с тем в указанных обстоятельных исследованиях вопросы длительных (внутривековых) изменений климата города не затрагивались. Настоящая работа, являясь развитием предшествующего исследования [10], частично восполняет указанный недостаток. В основу анализа кладутся результаты длительных непрерывных наблюдений, ведущихся в метеорологической обсерватории Казанского университета (далее сокращенно – ст. Казань, университет).

Станция Казань, университет находится в центре города (во дворе главного корпуса университета), среди плотной городской застройки, что придает особую ценность результатам ее наблюдений, позволяющим изучать воздействие городской среды на многолетние изменения метеорологического режима внутри города.

На протяжении XIX – XX столетий климатические условия Казани непрерывно изменялись. Указанные изменения следует рассматривать как результат весьма сложных, нестационарных воздействий на городскую климатическую систему множества факторов разной физической природы и различных про-

странственных масштабов их проявления: глобальных [12], региональных. В числе последних можно выделить группу чисто городских факторов. К ней относятся все те многочисленные изменения городской среды, которые влекут за собою адекватные изменения условий формирования ее радиационного и теплового балансов, баланса влаги и аэродинамических свойств. Таковыми являются исторические изменения площади городской территории, плотности и этажности городской застройки, промышленного производства, энергетической и транспортной систем города, свойств применяемого строительного материала и дорожных покрытий и многие другие.

Попытаемся проследить изменения климатических условий в городе в XIX – XX столетиях, ограничившись при этом анализом лишь двух наиболее важных показателей климата, какими являются температура приземного слоя воздуха и атмосферные осадки, опираясь на результаты наблюдений на ст. Казань, университет.

**Многолетние изменения температуры приземного слоя воздуха.** Начало систематическим метеорологическим наблюдениям в Казанском университете было положено в 1805 г., вскоре после его открытия. В силу разных обстоятельств непрерывные ряды ежегодных значений температуры воздуха сохранились лишь с 1828 г. Часть из них в графическом виде представлена на рис. 1.

Уже при первом, самом беглом рассмотрении рис. 1 можно обнаружить, что на фоне хаотических, пилообразных межгодовых колебаний температуры воздуха (ломаные прямые) на протяжении последних 176 лет (1828–2003 гг.) в Казани имела место хотя и нерегулярная, но вместе с тем отчетливо выраженная тенденция (тренд) потепления. Сказанное хорошо подкрепляется также и данными табл. 1.

Табл. 1

Средние многолетние ( $t$ ) и экстремальные ( $t_{\max}$ ,  $t_{\min}$ ) температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) на ст. Казань, университет

Периоды осреднения	$t$	Экстремальные температуры воздуха			
		$t_{\min}$	Годы	$t_{\max}$	Годы
Год	3.5	0.7	1862	6.8	1995
Январь	-12.9	-21.9	1848, 1850	-4.6	2001
Июль	19.9	15.7	1837	24.0	1931

Как видно из табл. 1, экстремально низкие температуры воздуха в Казани регистрировались не позднее 40–60-х гг. XIX столетия. После суровых зим 1848, 1850 гг. средние январские температуры воздуха более уже ни разу не достигали и не опускались ниже  $t_{\min} = -21.9^{\circ}\text{C}$ . Напротив, самые высокие температуры воздуха ( $t_{\max}$ ) в Казани наблюдались лишь в XX или в самом начале XXI столетия. Как видно, 1995 г. ознаменовался рекордно высоким значением средней годовой температуры воздуха.

Немало интересного заключает в себе также и табл. 2. Из ее данных следует, что потепление климата Казани проявилось во всех месяцах года. Вместе с тем хорошо видно, что наиболее интенсивно оно развивалось в зимний период

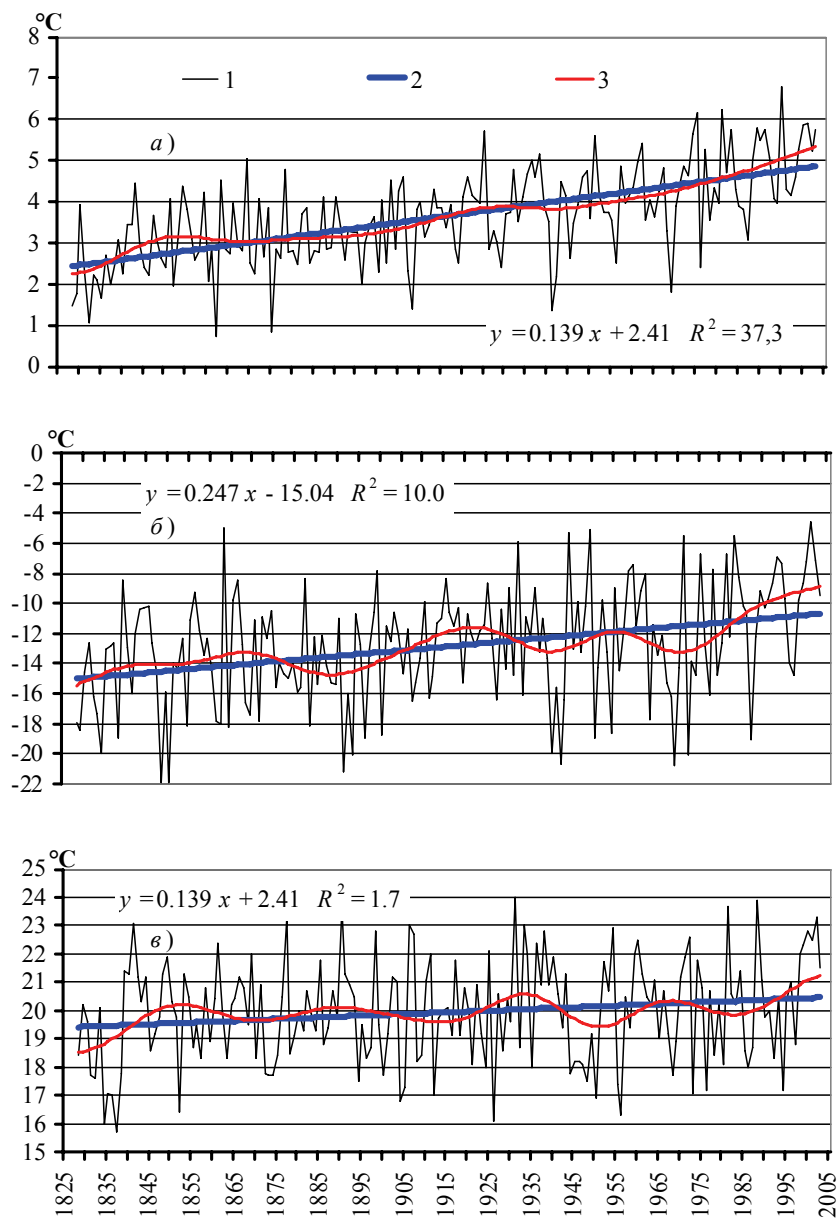


Рис. 1. Многолетняя динамика средних годовых (а), январских (б) и июльских (в) температур воздуха (°С) на ст. Казань, университет: результаты наблюдений (1), линейного сглаживания (2) и сглаживания с помощью низкочастотного фильтра Поттера (3) при  $L \geq 30$  лет

(декабрь – февраль). Температуры воздуха последнего десятилетия (1988–1997 гг.) указанных месяцев превышали аналогичные им средние величины первого десятилетия (1828–1837 гг.) исследуемого периода уже более чем на 4–5°С. Хорошо видно также, что процесс потепления климата Казани развивался весьма неравномерно, нередко он прерывался периодами сравнительно слабого похолодания (см. соответствующие данные в феврале – апреле, ноябре).

Табл. 2

Изменения температур воздуха (°С) за неперекрывающиеся десятилетия на ст. Казань, университет относительно десятилетия 1828–1837 гг.

Десятилетия	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год
1888–1997	5.25	4.22	2.93	3.39	3.16	3.36	2.15	1.27	2.23	2.02	0.22	4.83	2.92
1978–1987	4.78	2.16	1.54	1.79	3.19	1.40	1.85	1.43	1.95	1.06	0.63	5.18	2.25
1968–1977	1.42	1.19	1.68	3.27	2.74	1.88	2.05	1.91	2.25	0.87	1.50	4.81	2.13
1958–1967	4.16	1.95	0.76	1.75	3.39	1.92	2.65	1.79	1.70	1.25	0.30	4.70	2.19
1948–1957	3.02	-0.04	-0.42	1.34	3.29	1.72	1.31	2.11	2.79	1.41	0.65	4.61	1.98
1938–1947	1.66	0.94	0.50	0.72	1.08	1.25	1.98	2.49	2.70	0.00	0.15	2.85	1.36
1928–1937	3.96	-0.61	0.03	1.40	2.07	1.39	2.82	2.36	2.08	2.18	2.07	2.37	1.84
1918–1927	3.38	0.46	0.55	1.61	2.33	2.79	1.54	1.34	2.49	0.73	0.31	2.76	1.69
1908–1917	3.26	0.43	-0.50	1.11	1.00	1.71	1.80	1.02	1.83	-0.76	1.01	4.70	1.38
1898–1907	2.87	1.84	-0.54	0.99	2.70	1.68	2.18	1.55	0.72	0.47	-0.90	2.41	1.33
1888–1897	0.11	1.20	0.19	0.23	2.84	1.26	2.14	2.02	1.42	1.43	-2.36	0.90	0.95
1878–1887	1.47	1.57	-0.90	-0.48	2.46	0.94	1.74	0.88	1.08	0.12	0.19	4.65	1.14
1868–1877	1.45	-1.01	-0.80	0.00	0.67	1.47	1.67	1.96	0.88	0.86	0.86	1.99	0.83
1858–1867	2.53	-0.07	-0.92	0.53	1.25	1.25	2.40	0.85	1.59	0.36	-0.62	1.35	0.86
1848–1857	0.47	0.71	-0.92	0.05	2.43	1.02	1.86	1.68	1.20	0.39	0.25	2.86	1.00
1838–1847	2.90	0.85	-1.98	-0.97	1.55	1.65	2.45	1.86	1.81	0.49	-0.44	0.92	0.92
1828–1837	-15.54	-12.82	-5.93	3.06	10.69	16.02	17.94	16.02	9.70	3.22	-3.62	-13.33	2.12

К аномально теплым зимами последних лет жители Казани старшего поколения (чей возраст ныне не менее 70 лет) стали привыкать, сохранив, однако, воспоминания о суровых зимах своего детства (1930–1940-е гг.) и времени расцвета трудовой деятельности (1960-е гг.). Для юного же поколения казанцев теплые зимы последних лет воспринимаются, по-видимому, уже не как аномалия, а скорее, как «климатический норматив».

Многолетнюю тенденцию потепления климата Казани, о которой здесь идет речь, лучше всего наблюдать, изучая ход сглаженных (систематических) составляющих изменений температуры воздуха (рис. 1), определяемых в климатологии, как тренд ее поведения.

Выявление тренда в климатических рядах достигается обычно путем их сглаживания и (тем самым) подавления короткопериодических колебаний в них. Применительно к многолетним (1828–2003 гг.) рядам температуры воздуха на ст. Казань, университет применялись два способа их сглаживания: линейный и криволинейный (рис. 1).

При линейном сглаживании из многолетней динамики температуры воздуха исключаются все ее циклические колебания с длинами периодов  $L$ , меньших или равных длине анализируемого ряда (в нашем случае  $L \geq 176$  лет). Поведение линейного тренда температуры воздуха задается уравнения прямой

$$t(\tau) = \alpha\tau + t_0, \quad (1)$$

где  $t(\tau)$  – сглаженное значение температуры воздуха на момент времени  $\tau$  (годы),  $\alpha$  – угловой коэффициент (скорость тренда),  $t_0$  – свободный член, равный сглаженному значению температуры на момент  $\tau = 0$  (начало периода).

Положительное значение коэффициента  $\alpha$  указывают на потепление климата, и наоборот, если  $\alpha < 0$ . Если параметры тренда  $\alpha$  и  $t_0$  известны, то несложно оценить величину повышения (если  $\alpha > 0$ ) температуры воздуха за промежутки времени  $\tau$

$$\Delta t(\tau) = t(\tau) - t_0 = \alpha\tau, \quad (2)$$

достигаемую за счет линейной составляющей тренда.

Важными качественными показателями линейного тренда являются его коэффициент детерминации  $R^2$ , показывающий, какая часть полной дисперсии  $\sigma^2(t)$  воспроизводится уравнением (1), и надежность  $F$  выявления тренда по архивным данным. Ниже (табл. 3) приводятся результаты линейного тренд-анализа рядов температуры воздуха, полученных в результате ее многолетних измерений на ст. Казань, университет.

Анализ табл. 3 приводит к следующим выводам.

1. Наличие линейного тренда потепления ( $\alpha > 0$ ) в полных рядах (1828–2003 гг.) и в отдельных их частях подтверждается с весьма высокой надежностью  $F \geq 92.3\%$ .

2. Потепление климата Казани проявилось как в динамике зимних, так и летних температур воздуха. Однако темпы зимнего потепления опережали темпы летнего потепления в несколько раз. Итогом длительного (1828–2003 гг.) потепления климата Казани стало накопленное повышение средней январской

Табл. 3

Результаты линейного тренд-анализа многолетней динамики температуры воздуха (ТВ) на ст. Казань, университет

Состав рядов средних ТВ	Параметры тренда и его качественные показатели				Повышение ТВ $[\Delta t(\tau)]$ За интервал сглаживания $\tau$
	$a$ , °C / 10 лет	$t_0$ , °C	$R^2$ , %	$F$ , %	
$\tau = 176$ лет (1828–2003 гг.)					
Годовые ТВ	0.139	2.4	37.3	> 99.9	2.44
Январские ТВ	0.247	–15.0	10.0	> 99.9	4.37
Июльские ТВ	0.054	14.4	1.7	97.3	1.05
$\tau = 63$ года (1941–2003 гг.)					
Годовые ТВ	0.295	3.4	22.0	> 99.9	1.82
Январские ТВ	0.696	–13.8	6.0	98.5	4.31
Июльские ТВ	0.301	19.1	5.7	98.1	1.88
$\tau = 28$ лет (1976–2003 гг.)					
Годовые ТВ	0.494	4.0	9.1	96.4	1.33
Январские ТВ	1.402	–12.3	4.4	92.3	3.78
Июльские ТВ	0.936	19.0	9.2	96.5	2.52

температуры воздуха почти на  $\Delta t(\tau = 176) = 4.4$  °C, средней июльской – на 1 °C и средней годовой – на 2.4 °C (табл. 3).

3. Потепление климата Казани развивалось неравномерно (с ускорением): наиболее высокие темпы его наблюдались в последние три десятилетия.

Существенным недостатком процедуры линейного сглаживания рядов температуры воздуха, описанной выше, является полное подавление всех особенностей внутренней структуры процесса потепления на всем интервале ее применения. Для преодоления этого недостатка исследуемые ряды температуры одновременно сглаживались с помощью криволинейного (низкочастотного) фильтра Поттера (рис. 1).

Пропускающая способность фильтра Поттера регулировалась таким образом, что почти полностью подавлялись лишь те циклические колебания температуры, длины периодов ( $L$ ) которых не достигали 30 лет и, следовательно, были короче продолжительности брикнеровского цикла. Результаты применения низкочастотного фильтра Поттера (рис. 1) позволяют еще раз убедиться в том, что потепление климата Казани исторически развивалось весьма неравномерно: продолжительные (в несколько десятилетий) периоды быстрого подъема температуры воздуха (+) чередовались с периодами ее незначительного понижения (–). В итоге преобладающей оставалась тенденция потепления.

В табл. 4 приводятся результаты линейного тренд-анализа периодов длительных однозначных изменений средних годовых температур воздуха (выявленных с использованием фильтра Поттера) со второй половины XIX в. как для ст. Казань, университет, так и для тех же значений, полученных их осреднением по всему Северному полушарию [11].

Данные табл. 4 показывают, что потепление климата Казани развивалось более высокими темпами, чем (в среднем его проявлении) на Северном полу-

Табл. 4

Хронология долгопериодных изменений средних годовых температур воздуха в Казани и на Северном полушарии и результаты их линейного тренд-анализа

Периоды длительных однозначных изменений средних годовых ТВ (годы)	Характеристики линейных трендов		
	$a$ , °C / 10 лет	$R^2$ , %	$F$ , %
1. Динамика средних годовых ТВ на ст. Казань, университет			
1869–1896 (–)	–0.045	0.2	17.2
1896–1925 (+)	0.458	19.2	98.9
1925–1941 (–)	–0.039	0.03	5.5
1941–2003 (+)	0.295	22.0	99.9
2. Динамика средних годовых ТВ, полученных осреднением по Северному полушарию			
1878–1917 (–)	–0.048	14.2	98.4
1917–1944 (+)	0.190	69.8	> 99.99
1944–1976 (–)	–0.065	23.1	99.5
1976–2003 (+)	0.248	74.3	> 99.99

шарии. Заметно отличались при этом хронология и продолжительность долгопериодных однозначных изменений температуры воздуха. Первый период длительного подъема температуры воздуха в Казани начался раньше (1896–1925 гг.), много раньше (с 1941 г.) началась и современная волна длительного подъема средней годовой температуры воздуха, ознаменовавшаяся достижением самого высокого (за всю историю наблюдений) ее уровня (6.8°C) в 1995 г. (таб. Как уже отмечалось выше, указанное потепление является результатом весьма сложного воздействия на термический режим города большого числа перемененно действующих факторов разного происхождения. Определенный интерес в связи с этим может представлять оценка вклада в общее потепление климата Казани его «городской составляющей», обусловленной историческими особенностями роста города и развития его хозяйства.

Результаты исследования [10] показывают, что в накопленном за 176 лет повышении средней годовой температуры воздуха (ст. Казань, университет) на долю «городской составляющей» приходится большая его часть (58.3% или  $2.4 \times 0.583 \approx 1.4^\circ\text{C}$ ). Вся оставшаяся часть (порядка 1°C) накопленного потепления обусловлена действием естественных и глобальных антропогенных (выбросы в атмосферу термодинамически активных газовых компонент, аэрозоля) факторов.

У читателя, рассматривающего показатели накопленного (1828–2003 гг.) потепления климата города (табл. 3) может возникнуть вопрос: насколько они велики и с чем их можно было бы сравнить? Попробуем ответить на этот вопрос, опираясь на табл. 5.

Данные табл. 5 свидетельствуют об общеизвестном повышении температуры воздуха с уменьшением географической широты, и наоборот. Можно также обнаружить, что скорости повышения температуры воздуха с уменьшением

Табл. 5

Средние температуры воздуха (°С) широтных кругов на уровне моря [13]

Широта $\varphi$ , град. с.ш.	январь	Июль	Год
60	-16	13	-1
50	-7	17	5

широты различаются. Если в январе она составляет  $c_1 = \Delta t / \Delta \varphi = [-7 - (-16)] / 10 \approx 0.9$  °С / град. широты, то в июле они значительно меньше  $c_2 \approx 0.4$  °С / град. широты.

Если достигнутое за 176 лет повышение средней январской температуры (табл. 3) поделить на среднезональную скорость ее изменения по широте ( $c_1$ ), то получим оценку величины виртуального переноса положения города к югу

$$\delta\varphi_1 = \Delta t_1 (\tau = 176) / c_1 = 4.4 / 0.9 \approx 4.9 \text{ град. широты,}$$

чтобы достичь примерно такого же повышения температуры воздуха в январе, что и произошло за полный период (1828–2003 гг.) ее измерений.

Географическая широта Казани близка к  $\varphi \approx 56$  град. с.ш. Вычитая из нее полученное значение климатического эквивалента потепления  $\delta\varphi_1 \approx 4.9$  град. широты, мы найдем другое значение широты ( $\varphi_1 \approx 51$  град. с.ш., что близко к широте г. Саратова), на которую и следовало бы совершить условный перенос города при неизменности состояний глобальной климатической системы и городской среды.

Подсчет числовых значений  $\delta\varphi$ , характеризующих уровень достигнутого за 176 лет потепления в городе в июле и в среднем за год, приводит к следующим (приблизженным) оценкам: 2.5 и 4.0 град. широты соответственно.

С потеплением климата Казани произошли заметные изменения ряда других важных показателей термического режима города. Более высокие темпы зимнего (январь) потепления (при более низких их показателях летом (табл. 2, 3) явились причиной постепенного уменьшения годовой амплитуды температуры воздуха в городе (рис. 2) и, как следствие, – причиной ослабления континентальности городского климата.

Средняя многолетняя (1828–2003 гг.) величина годовой амплитуды температуры воздуха на ст. Казань, университет составляет 32.8°С (табл. 1). Как видно из рис. 2, за счет линейной составляющей тренда годовая амплитуда температуры воздуха за 176 лет уменьшилась почти на 2.4°С. Насколько велика эта оценка и с чем можно ее соотнести?

Если исходить из имеющихся картографических данных о распределении годовых амплитуд температуры воздуха на европейской территории России вдоль широтного круга  $\varphi \approx 56$  град. широты [13] накопленного смягчения континентальности климата можно было бы достичь при виртуальном переносе положения города на запад приблизительно на 7–9 град. долготы или почти на 440–560 км в том же направлении, что составляет чуть больше половины расстояния между Казанью и Москвой.



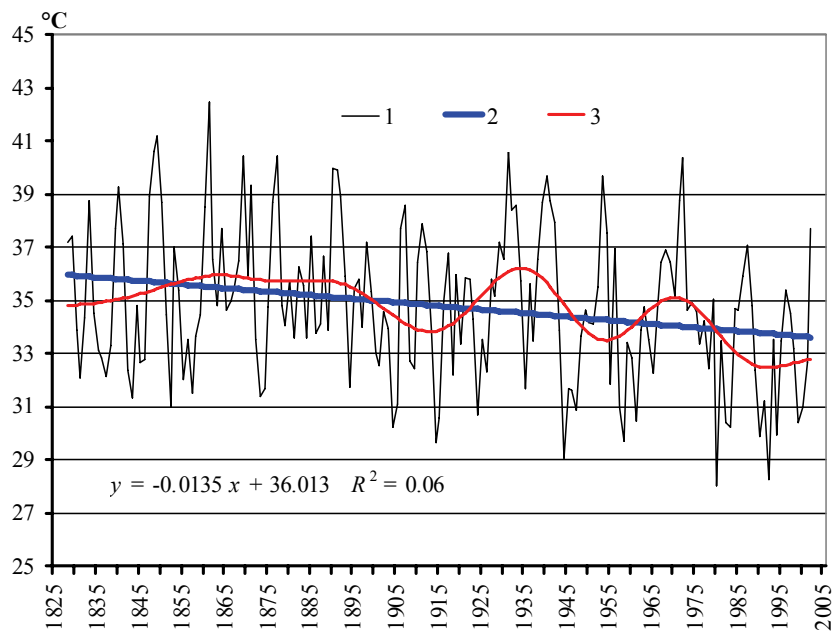


Рис. 2. Многолетняя динамика годовой амплитуды температуры воздуха (°C) на ст. Казань, университет: результаты наблюдений (1), линейного сглаживания (2) и сглаживания с помощью низкочастотного фильтра Поттера (3) при  $L \geq 30$  лет

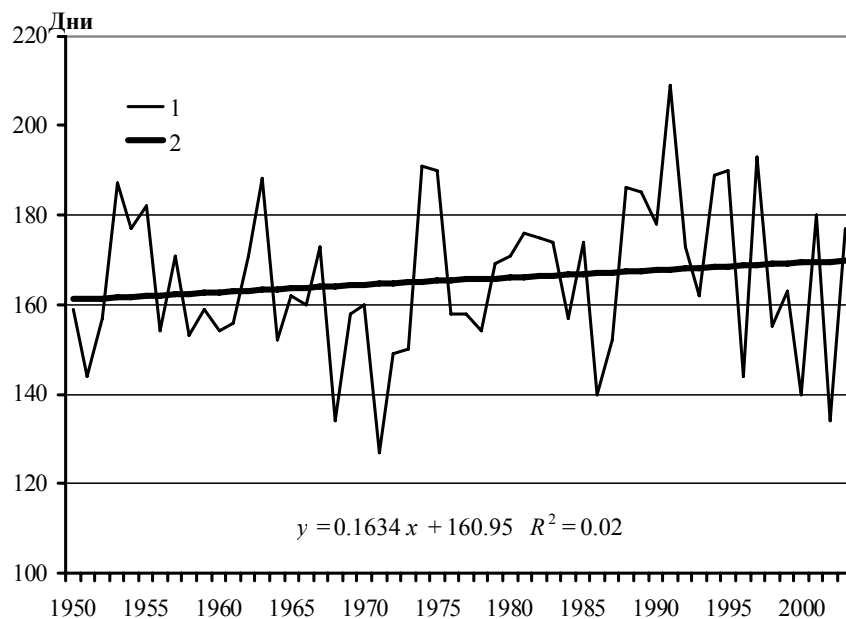


Рис. 3. Продолжительность безморозного периода (дни) на ст. Казань, университет: фактические величины (1) и их линейное сглаживание (2)

Другим, не менее важным показателем термического режима города, в поведении которого также нашло свое преломление наблюдаемое потепление климата, является продолжительность безморозного периода. В климатологии безморозный период определяется как промежуток времени между датой по-

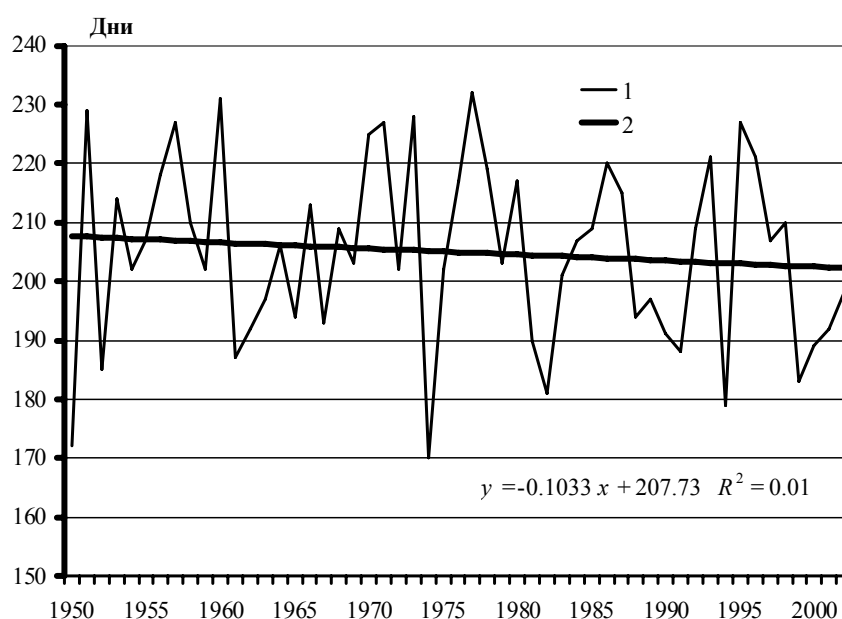


Рис. 4. Продолжительность отопительного периода (дни) на ст. Казань, университет: фактические величины (1) и их линейное сглаживание (2)

следнего мороза (заморозка) весной и первой датой осеннего мороза (заморозка) [5, 6]. Средняя многолетняя продолжительность безморозного периода на ст. Казань, университет составляет 153 дня [6].

Как показывает рис. 3, в многолетней динамике продолжительности безморозного периода на ст. Казань, университет присутствует хорошо выраженная многолетняя тенденция ее постепенного увеличения. За последние 54 года (1950–2003 гг.) за счет линейной составляющей она увеличилась уже на 8.5 суток.

Можно не сомневаться в том, что увеличение продолжительности безморозного периода оказало благоприятное воздействие на увеличение продолжительности вегетационного периода городского растительного сообщества. Из-за отсутствия в нашем распоряжении многолетних данных по продолжительности вегетационного периода в городе, к сожалению, у нас нет возможности привести здесь хотя бы один пример, подтверждающий это очевидное положение.

С потеплением климата Казани и последовавшим за ним увеличением длительности безморозного периода произошло закономерное уменьшение продолжительности отопительного периода в городе [10] (рис. 4). Климатические характеристики отопительного периода широко используются в жилищно-коммунальной и производственной сферах для разработки нормативов запасов и расходов топлива. В прикладной климатологии за продолжительность отопительного периода принимается часть года, когда средняя суточная температура воздуха устойчиво удерживается ниже  $+8^{\circ}\text{C}$ . В этот период для поддержания нормальной температуры воздуха внутри жилых и производственных помещений необходимо их отапливать.

Средняя продолжительность отопительного периода на начало XX столетия составляла (по результатам наблюдений на ст. Казань, университет) 208 дней.

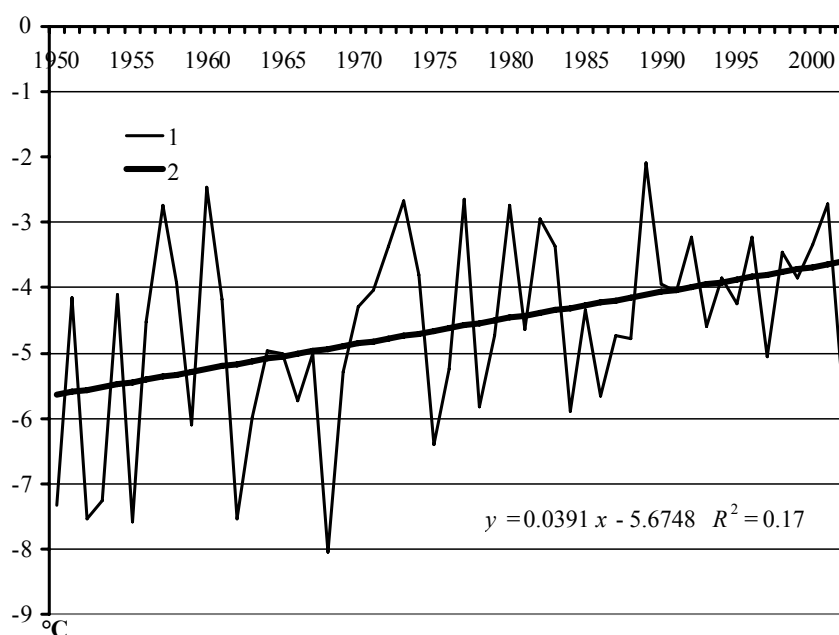


Рис. 5. Средняя температура отопительного периода (°C) на ст. Казань, университет: фактические величины (1) и их линейное сглаживание (2)

Вследствие потепления климата города только за последние 54 года (1950–2003 гг.) она уменьшилась на 6 суток (рис. 4).

Важным дополнительным показателем отопительного периода является его средняя температура воздуха. Из рис. 5 видно, что вместе с сокращением продолжительности отопительного периода за последние 54 года (1950–2003 гг.) она увеличилась на 2.1°C.

Таким образом, потепление климата Казани повлекло за собою не только соответствующие изменения экологической ситуации в городе, но и создало определенные положительные предпосылки для экономии энергозатрат в производственной и, в особенности, в жилищно-коммунальной сферах города.

**Атмосферные осадки.** Возможности анализа многолетних изменений режима выпадения атмосферных осадков (в дальнейшем сокращенно – осадки) в городе сильно ограничены, что объясняется рядом причин.

Площадка, где размещены осадкомерные устройства метеорологической обсерватории Казанского университета, исторически всегда находилась во дворе его главного корпуса и поэтому закрыта (в разной степени) со всех направлений разноэтажными строениями. До осени 2004 г. внутри указанного двора произрастало немало высоких деревьев. Эти обстоятельства неизбежно влекли за собою значительные искажения ветрового режима во внутреннем пространстве указанного двора, а вместе с этим и условий измерения осадков.

Местонахождение метеорологической площадки внутри двора неоднократно менялось, что также нашло свое отражение в нарушении однородности рядов осадков по ст. Казань, университет. Так, например, еще О.А. Дроздовым [4] было обнаружено завышение сумм зимних осадков на указанной станции

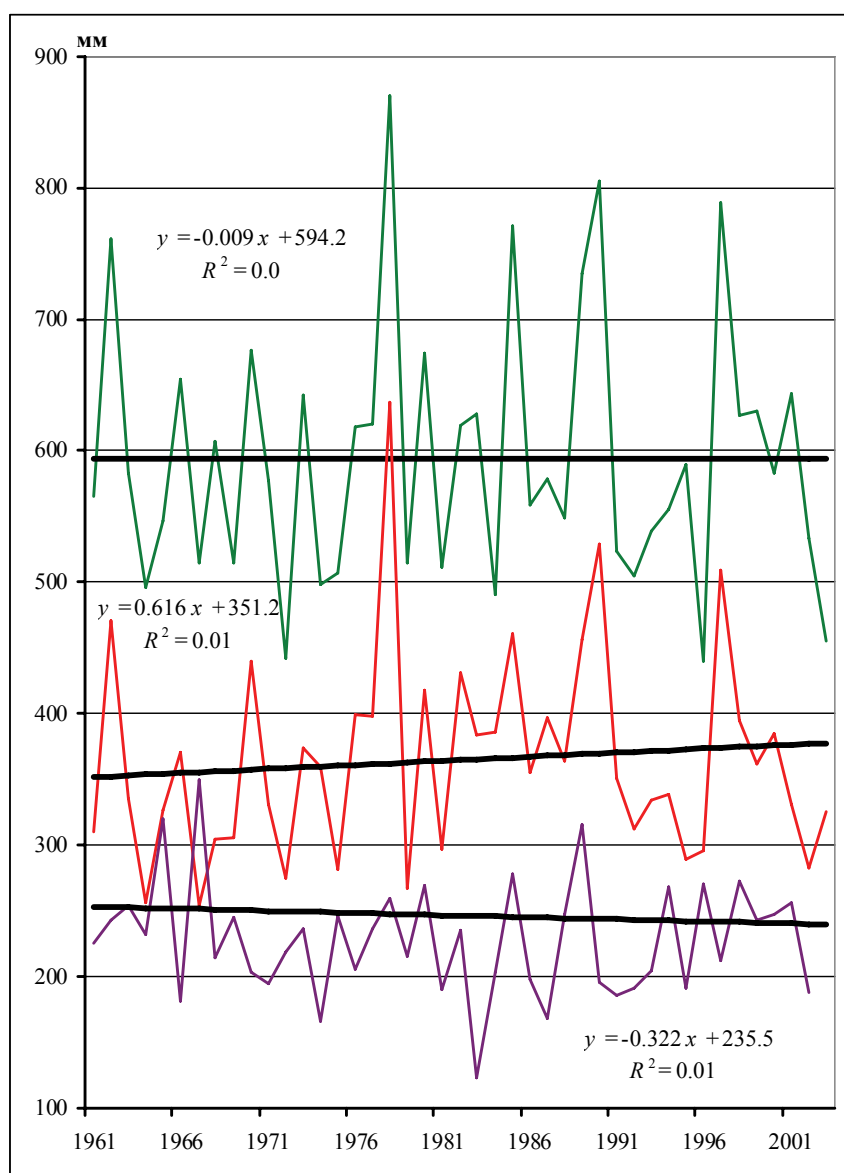


Рис. 6. Многолетняя динамика и линейные тренды сумм атмосферных осадков (мм) на ст. Казань, университет: годовых (вверху), теплого периода IV – X (в середине) и холодного периода XI – III (внизу)

за счет надувания снега с крыш ближайших строений в годы, когда метеорологическая площадка располагалась наиболее близко к ним.

Весьма негативное влияние на качество многолетних рядов осадков по ст. Казань, университет оказала также всеобщая замена (1961 г.) дождемеров на осадкомеры, не обеспеченная в методическом отношении.

С учетом сказанного мы вынуждены ограничиться рассмотрением лишь укороченных рядов осадков (1961–2003 гг.), когда приборы, использовавшиеся для их измерений (осадкомер), и положение метеорологической площадки внутри университетского двора оставались неизменными.

Важнейшим показателем режима осадков является их количество, определяемое высотой слоя воды (мм), которой мог бы образоваться на горизонтальной поверхности от выпавших жидких (дождь, морось и др.) и твердых (снег, снежная крупа, град и др. – после их таяния) осадков при отсутствии стока, просачивания и испарения. Количество осадков относят, обычно, к определенному интервалу времени их сбора (сутки, месяц, сезон, год).

Из рис. 6 следует, что в условиях ст. Казань, университет годовые суммы осадков формируются при решающем вкладе в них осадков теплого (апрель – октябрь) периода. По результатам измерений, выполнявшихся в 1961–2003 гг., в теплый сезон выпадает в среднем 364.8 мм, а в холодный (ноябрь – март) – меньше (228.6 мм).

Для многолетней динамики годовых сумм осадков на ст. Казань, университет наиболее характерными являются две присущие ей особенности: большая временная изменчивость режима увлажнения и почти полное отсутствие в ней линейной составляющей тренда (рис. 6).

Систематическая составляющая (тренд) в многолетней динамике годовых сумм осадков представлена лишь низкочастотными циклическими колебаниями их разной длительности (от 8–10 до 13 лет) и амплитуды, что и следует из поведения скользящих 5-летних средних (рис. 6).

Со второй половины 1980-х гг. в поведении указанной систематической составляющей динамики годовых сумм осадков доминировала 8-летняя циклическая особенность. После глубокого минимума годовых сумм осадков, проявившегося в поведении систематической составляющей в 1993 г., вплоть до 1998 г. они быстро возрастали, после чего наметилась обратная тенденция. Если указанная (8-летняя) циклическая особенность сохранится, то, начиная (ориентировочно) с 2001 г., можно предполагать последующее возрастание годовых сумм осадков (ординат скользящих 5-летних средних).

Присутствие слабо выраженной линейной составляющей тренда в многолетней динамике осадков выявляется лишь в поведении их полугодовых сумм (рис. 6). В рассматриваемом историческом периоде (1961–2003 гг.) осадки теплого периода года (апрель – октябрь) имели тенденцию к их некоторому увеличению. В поведении осадков холодного периода года прослеживалась обратная тенденция.

За счет линейной составляющей тренда сумма осадков теплого периода за последние 43 года возросла на 25 мм, а сумма осадков холодного времени года уменьшилась на 13 мм.

Здесь может возникнуть вопрос: «присутствует» ли в указанных систематических составляющих изменений режима осадков «городская составляющая» и как она соотносится с естественной составляющей? К сожалению, ответом на этот вопрос авторы пока не располагают, о чем еще будет сказано несколько ниже.

К городским факторам многолетних изменений режима выпадения осадков относятся все те изменения городской среды, которые влекут за собой адекватные изменения облачного покрова, процессов конденсации и осадкообразования над городом и ближайшими его окрестностями. Наиболее существенным среди них являются, безусловно, многолетние колебания вертикальных профи-

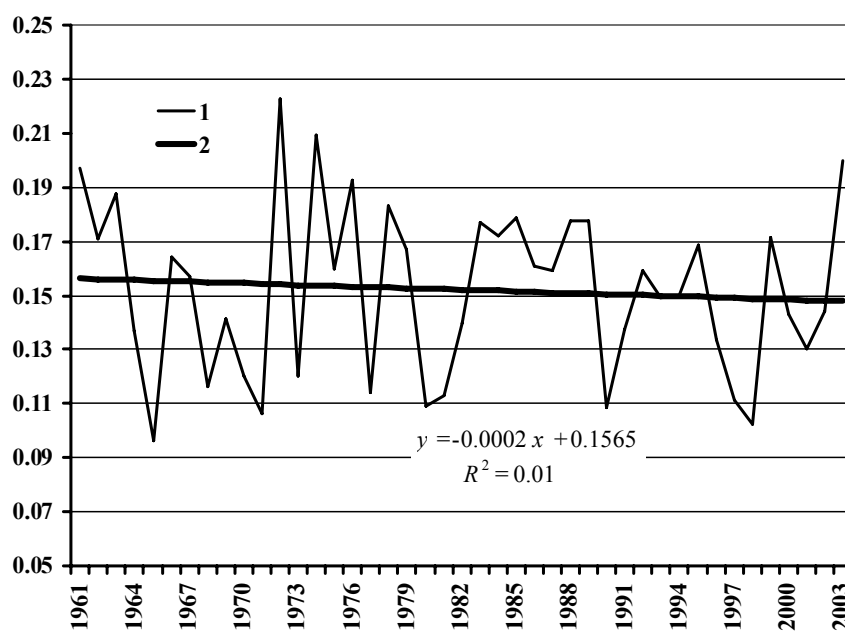


Рис. 7. Многолетняя динамика относительных годовых амплитуд осадков  $A_x$  (доли единицы) на ст. Казань, университет: фактические величины (1) и их линейное сглаживание (2)

лей температуры и влажности в пограничном слое атмосферы, шероховатости городской подстилающей поверхности и загрязнения воздушного бассейна города гигроскопическими веществами (ядрами конденсации). Влияние больших городов на изменения режима осадков подробно анализируется в ряде работ [9, 14 и др.].

Оценка вклада городской составляющей в многолетние изменения режима выпадения осадков в Казани вполне реальна. Однако для этого, помимо данных об осадках на ст. Казань, университет, необходимо привлечение аналогичных (синхронных) результатов их измерений на сети станций, находящихся в ближайшем (до 20–50 км) окружении города. К сожалению, этой информацией мы пока не располагали.

Величина относительной годовой амплитуды осадков

$$A_x = (R_{\max} - R_{\min}) / R \cdot 100\% \quad (3)$$

рассматривается как один из показателей континентальности климата [14]. В формуле (3)  $R_{\max}$  и  $R_{\min}$  – наибольшая и наименьшая (соответственно) внутри-годовые месячные суммы осадков,  $R$  – годовая сумма осадков.

Многолетняя динамика годовых амплитуд осадков  $A_x$  показана на рис. 7.

Среднее многолетнее значение ( $A_x$ ) для ст. Казань, университет (1961–2003 гг.) составляет около 15%, что соответствует условиям полуконтинентального климата. В многолетней динамике амплитуд осадков  $A_x$  имеется слабовыраженная, но устойчивая тенденция их уменьшения, свидетельствующая о том, что ослабление континентальности климата Казани, наиболее отчетливо про-

явившееся в уменьшении годовых амплитуд температуры воздуха (рис. 2), нашла свое отражение и в динамике режима осадков.

### Выводы

1. Климатические условия Казани в XIX – XX столетиях претерпевали существенные изменения, явившиеся результатом весьма сложных, нестационарных воздействий на местный климат множества разных факторов, среди которых значительная роль принадлежит воздействиям комплекса городских факторов.

2. Изменения климатических условий города наиболее ярко проявили себя в потеплении климата Казани и смягчении его континентальности. Итогом потепления климата Казани за последние 176 лет (1828–2003 гг.) стало повышение средней годовой температуры воздуха на 2.4°C, при этом большая часть этого потепления (58.3% или 1.4°C) была связана с ростом города, развитием его промышленного производства, энергетической и транспортной систем, изменениями строительных технологий, свойств используемых строительных материалов и других антропогенных факторов.

3. Потепление климата Казани и некоторое смягчение его континентальных свойств повлекли за собою адекватные изменения экологической ситуации в городе. При этом увеличилась продолжительность безморозного (вегетационного) периода, уменьшилась продолжительность отопительного периода при одновременном повышении его средней температуры. Тем самым возникли предпосылки для более экономного расходования топлива, потребляемого в жилищно-коммунальной и производственной сферах, и снижения уровня вредных выбросов в атмосферу.

Работа выполнена при финансовой поддержке научной программы «Университеты России – фундаментальные исследования», направление «География».

### Summary

*M.A. Vereshagin, Y.P. Perevedentsev, E.P. Naumov, K.M. Shantalinsky, F.V. Gogol.* Long-term changes of air temperature and atmospheric precipitation in Kazan.

Long-term changes of air temperature and atmospheric precipitation in Kazan and their displays in the changes of other parameters of the climate which having applied value and has entailed certain changes of city ecological system are analyzed.

### Литература

1. *Адаменко В.Н.* Климат больших городов (обзор). – Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1975. – 70 с.
2. *Берлянд М. Е., Кондратьев К.Я.* Города и климат планеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 39 с.
3. *Верещагин М.А.* О мезоклиматических различиях на территории г. Казани // Вопросы мезоклимата, циркуляции и загрязнения атмосферы. Межвуз. сб. научн. тр. – Пермь, 1988. – С. 94–99.
4. *Дроздов О.А.* Колебания осадков в бассейне р. Волги и изменения уровня Каспийского моря // 150 лет метеорологической обсерватории Казанского ордена Трудо-

- вого Красного знамени государственного университета им. В.И. Ульянова-Ленина. Докл. научн. конф. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1963. – С. 95–100.
5. Климат города Казани / Под ред. Н.В. Колобова. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1976. – 210 с.
  6. Климат Казани / Под ред. Н.В. Колобова, Ц.А. Швер, Э.П. Наумова. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 137 с.
  7. Колобов Н.В., Верещагин М.А., Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М. Оценка влияния роста Казани на изменения термического режима внутри города // Тр. ЗапСибНИИ. – 1983. – Вып. 57. – С. 37–41.
  8. Кондратьев К.Я., Матвеев Л.Т. Основные факторы формирования острова тепла в большом городе // Докл. РАН. – 1999. – Т. 367, № 2. – С. 253–256.
  9. Кратцер П. Климат города. – М.: Изд-во иностр. лит., 1958. – 239 с.
  10. Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Шанталинский К.М. О многолетних колебаниях температуры воздуха по данным метеорологической обсерватории Казанского университета // Метеорология и гидрология. – 1994. – № 7. – С. 59–67.
  11. Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Шанталинский К.М., Наумов Э.П., Тудрий В.Д. Современные глобальные и региональные изменения окружающей среды и климата. – Казань: УНИПРЕСС, 1999. – 97 с.
  12. Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Наумов Э.П., Николаев А.А., Шанталинский К.М. Современные изменения климата Северного полушария Земли // Уч. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2005. – Т. 147, Кн. 1. – С. 90–106.
  13. Хромов С.П. Метеорология и климатология для географических факультетов. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 456 с.
  14. Швер Ц.А. Атмосферные осадки на территории СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 302 с.
  15. Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон. Материалы межд. науч. конф., 15–17 окт. 2002 г. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2002. – 195 с.

Поступила в редакцию  
27.10.05

---

**Верещагин Михаил Алексеевич** – кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского государственного университета.

**Переведенцев Юрий Петрович** – доктор географических наук, профессор, декан факультета географии и геоэкологии Казанского государственного университета.  
E-mail: [Yuri.Perevedentsev@ksu.ru](mailto:Yuri.Perevedentsev@ksu.ru)

**Наумов Эдуард Петрович** – кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского государственного университета.

**Шанталинский Константин Михайлович** – кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского государственного университета.  
E-mail: [Konstantin.Shantalinsky@ksu.ru](mailto:Konstantin.Shantalinsky@ksu.ru)

**Гоголь Феликс Витальевич** – ассистент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского государственного университета.  
E-mail: [felix.gogol@ksu.ru](mailto:felix.gogol@ksu.ru)