

Долговременные изменения температуры в пограничном слое атмосферы над территорией Сибири. Часть 2. Изменение среднесезонной температуры

В.С. Комаров, А.В. Лавриненко, С.Н. Ильин, Н.Я. Ломакина, Е.В. Горев*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 4.04.2011 г.

Представлены результаты анализа трендов долговременных изменений среднесезонной температуры в пограничном слое атмосферы Сибирского региона за 1981–2010 гг., оцененные для зимы, весны, лета и осени по данным наблюдений 25 аэрологических станций. Установлено, что главный вклад в процессы регионального потепления, отмечаемого в последнее 30-летие, вносят не зимний (как это принято считать), а весенний, летний и осенний периоды. Показано, что в последнее десятилетие, когда проявилась тенденция к замедлению глобального потепления, на региональном уровне оно также проявляется за счет существенного понижения среднесезонной температуры в зимний и летний сезоны, наблюдаемого во всем пограничном слое атмосферы и почти над всей территорией Сибирского региона.

Ключевые слова: изменение климата, линейные тренды, среднесезонная температура, пограничный слой атмосферы, регион Сибири; climate change, linear trends, average seasonal temperature, the atmospheric boundary layer, Siberian region.

Введение

В первой части настоящей статьи [1] исследованы особенности долговременных изменений среднегодовой температуры в пограничном слое атмосферы (ПСА) Сибирского региона, в которой установлено, что на фоне повсеместного преобладания в этом регионе ее положительных трендов в субполярных широтах (60–70° с.ш.) Западной Сибири и в прилегающих районах Восточной Сибири наблюдаются значимые отрицательные тренды. К тому же в последнее десятилетие (2001–2010 гг.) во всем ПСА уже на большей части территории Сибири, исключая лишь ее полярные районы и районы субполярной зоны Восточной Сибири, отмечалось существенное похолодание. Однако несмотря на эти интересные результаты, полученные в [1], все же представляет большой интерес изучить также особенности долговременных изменений в ПСА его среднесезонной температуры. Это позволит, с одной стороны, выявить сезонные различия в долговременных изменениях среднесезонной температуры на отдельных высотных уровнях пограничного слоя атмосферы Сибирского региона, а с другой — оценить основной вклад среднесезонной температуры того или иного сезона в темпы повы-

шения (или понижения) среднегодовой температуры ПСА в различных районах исследуемого региона.

Оценку подобного вклада важно провести также и потому, что, согласно [2, 3], при явной тенденции к повышению среднегодовой температуры, наблюдаемому на территории Сибири с 70-х гг. XX в., основной вклад в темпы ее повышения определялся главным образом изменениями среднесезонной температуры в зимний период. К сожалению, подобный вывод в работах [2, 3] сделан по данным наземных метеорологических наблюдений, взятых лишь до 2006 г. включительно, и, следовательно, они не охватывают начавшееся с 2006 г. и выявленное автором [4] понижение среднегодовой температуры в северном полушарии в целом. Важно выяснить также, насколько хорошо проявляется эффект подобного похолодания в пограничном слое атмосферы, особенно для такого малоосвещенного региона, как Сибирь.

С учетом всего вышесказанного в настоящей статье рассмотрена проблема долговременных изменений среднесезонной температуры в пограничном слое атмосферы над территорией Сибирского региона.

1. Методика обработки данных и представления результатов анализа

Как и в случае со среднегодовой температурой, основными исходными данными, использованными для подготовки массивов среднесезонной температуры

* Валерий Сергеевич Комаров (gfm@iao.ru); Андрей Викторович Лавриненко (gfm@iao.ru); Сергей Николаевич Ильин; Наталья Яковлевна Ломакина (lnya@iao.ru); Евгений Владимирович Горев.

и анализа ее долговременных изменений в пограничном слое атмосферы Сибирского региона, послужили многолетние (1973–2010 гг.) и двухсрочные (00 и 12 ч GMT) наблюдения (<http://www.weather.uwo.edu/>) 25 аэрологических станций, перечень которых дается в работе [1]. При этом исходные данные, представленные на главных изобарических поверхностях 1000, 925, 850 и 700 гПа и уровнях особых точек, были предварительно приведены, как и в случае анализа среднегодовой температуры, к системе геометрических высот: 0, 400, 800 и 1600 м, для чего использовалась стандартная процедура линейной интерполяции.

В качестве основных статистических параметров, примененных для анализа межгодовых изменений среднесезонной температуры, были использованы такие климатические показатели, как ее аномалии ΔT , оцененные относительно базового периода 1973–1980 гг., линейные тренды и значения интенсивности изменения осредненной температуры ($^{\circ}\text{C}/10$ лет), рассчитанные по данным 1981–2010 гг. и последнего десятилетия (2001–2010 гг.), когда была выявлена (см. [4]) заметная тенденция к ослаблению глобального потепления.

Поскольку для наглядности представления результатов анализа наряду с табличными данными в настоящей статье использованы также цветные картографические изображения пространственного распределения коэффициентов линейных трендов (т.е. интенсивности изменения среднесезонной температуры), остановимся на некоторых принципах их построения.

Известно [5], что картографические проекции определяют зависимость между координатами точек на поверхности земного эллипсоида и на плоскости. При этом неизбежным свойством таких проекций являются искажения. В качестве основы для построения картографической проекции нами была взята модель Пулково 1942 г. В данном случае существенными факторами являются правильная передача относительности географического расположения и очертаний континентов, внутренних морей, крупных озер и рек, а также вид картографической сетки.

Рассматриваемая территория Сибирского региона располагается между 52-й и 72-й параллелями северной широты и 61-м и 134-м меридианами восточной долготы. Протяженность этого полигона с запада на восток более 4300 км и с севера на юг 2700 км, использовались данные 25 аэрологических станций. Для того чтобы правильно отобразить тематический слой с относительно высокой детализацией в районе с такой малой плотностью станций, нами применялся метод пространственной интерполяции на основе алгоритма фильтра Калмана [6]. При этом шаг регулярной сетки задавался равным 100 км по широте и долготе. В качестве влияющих станций для каждого узла сетки брались три наиболее близкорасположенные аэрологические станции. Выбранный нами метод построения интерполированной поверхности дал лучший результат при сравнении (методом перекрестной проверки) со стандартными методами взвешенных обратных дальностей

(IDW) и триангуляции нерегулярных сетей (TIN), используемых в современных ГИС (см., например, [5]).

2. Аномалии и линейные тренды изменения среднесезонной температуры

Остановимся теперь непосредственно на анализе результатов статистической оценки аномалий и линейных трендов изменения среднесезонной температуры в пограничном слое атмосферы Сибирского региона, полученных для зимы, весны, лета и осени по данным 30-летнего периода (1981–2010 гг.). При этом подобный анализ был проведен для каждого сезона (зимы, весны, лета и осени) в отдельности с использованием рис. 1–3, где в качестве примера даются для трех типичных станций (Диксон, Омск и Чита) межгодовые изменения среднесезонных аномалий температуры и их линейные тренды на двух высотных уровнях: 0 (земля) и 800 м, а также рис. 4 (см. вклейку), на котором в картографическом виде показано пространственное распределение коэффициентов линейных трендов, характеризующих интенсивность изменения среднесезонной температуры за 1981–2010 гг. на всех взятых высотах: 0, 400, 800 и 1600 м.

Рассмотрим (для каждого сезона в отдельности) особенности трендов среднесезонных аномалий температуры и их коэффициентов, оцененных по данным последнего 30-летнего периода.

Зима. Для этого сезона характерны следующие особенности.

- Во-первых, зимой практически на всей территории Сибирского региона и во всем пограничном слое атмосферы преобладают существенные отрицательные тренды с максимумом своих коэффициентов (порядка $-1,2 \dots -1,6^{\circ}\text{C}/10$ лет в приземном слое) в субполярных широтах ($60-70^{\circ}$ с.ш.) Западной Сибири. Лишь в самой восточной части центральной Якутии, да и только вблизи земной поверхности наблюдаются положительные, хотя и незначительные по величине (порядка $0,3-0,4^{\circ}\text{C}/10$ лет), тренды.

Следовательно, полученные (по данным последнего 30-летия) результаты говорят о том, что зимой на всей территории Сибири (за редким исключением) отмечается существенное похолодание, причем во всем пограничном слое атмосферы.

- Во-вторых, величины трендов среднесезонных аномалий температуры (независимо от своего знака) повсеместно уменьшаются с высотой, достигая своих наименьших значений (не более $-0,6^{\circ}\text{C}/10$ лет) на верхней границе пограничного слоя атмосферы.

- В-третьих, коэффициенты линейных трендов, определяющие интенсивность понижения зимней температуры в пограничном слое атмосферы, значительно превышают (по своей абсолютной величине) значения тех же коэффициентов, но рассчитанных для среднегодовой температуры [1, табл. 1], внося тем самым значительный вклад в ослабление темпов потепления климата ПСА на территории Сибири.

Диксон

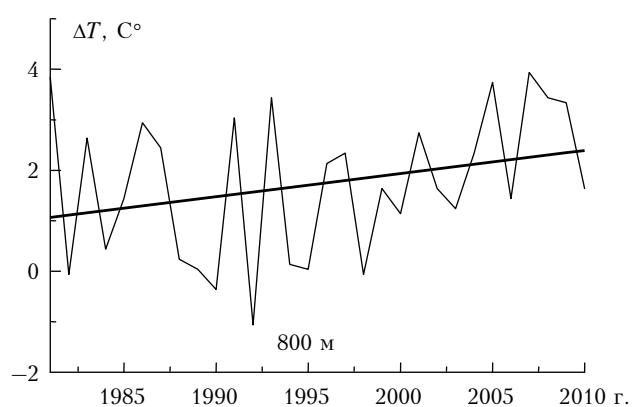
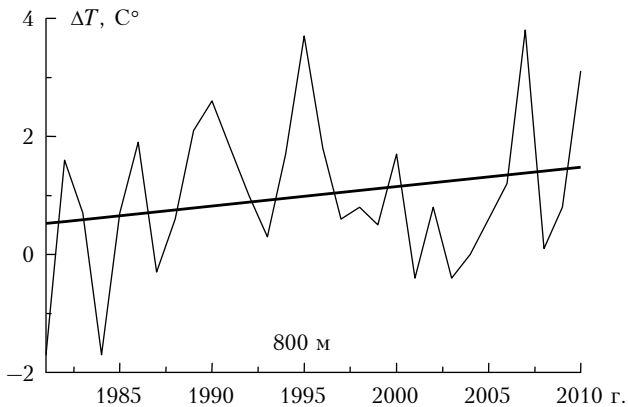
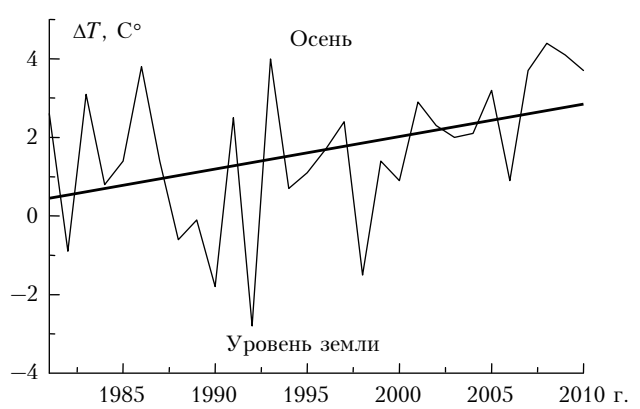
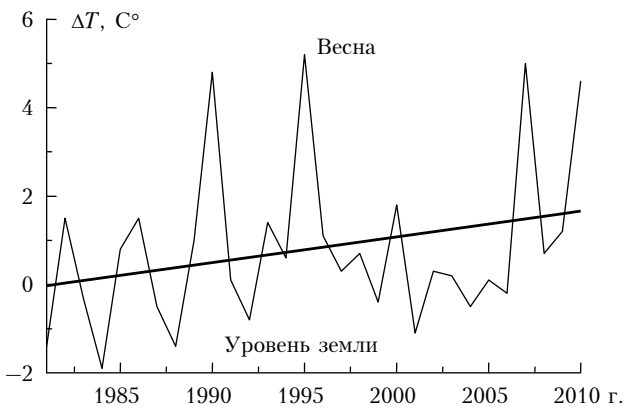
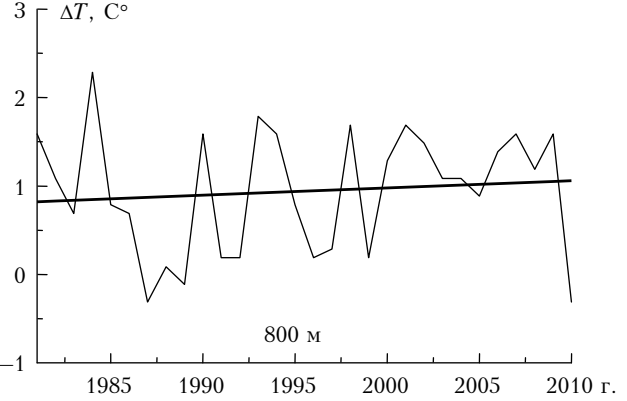
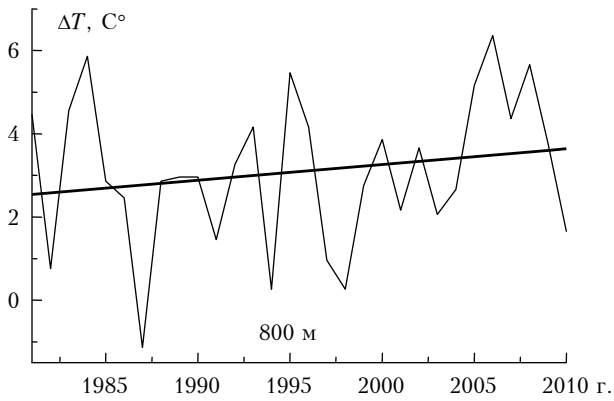
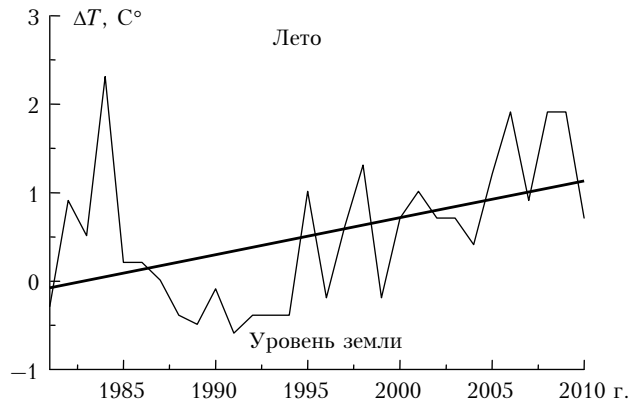
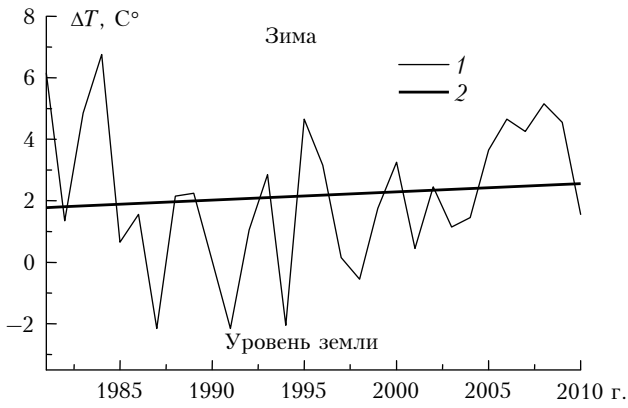


Рис. 1. Долговременные изменения аномалий среднесезонной температуры (1) и их линейные тренды (2) на высотах 0 и 800 м для ст. Диксон

Омск

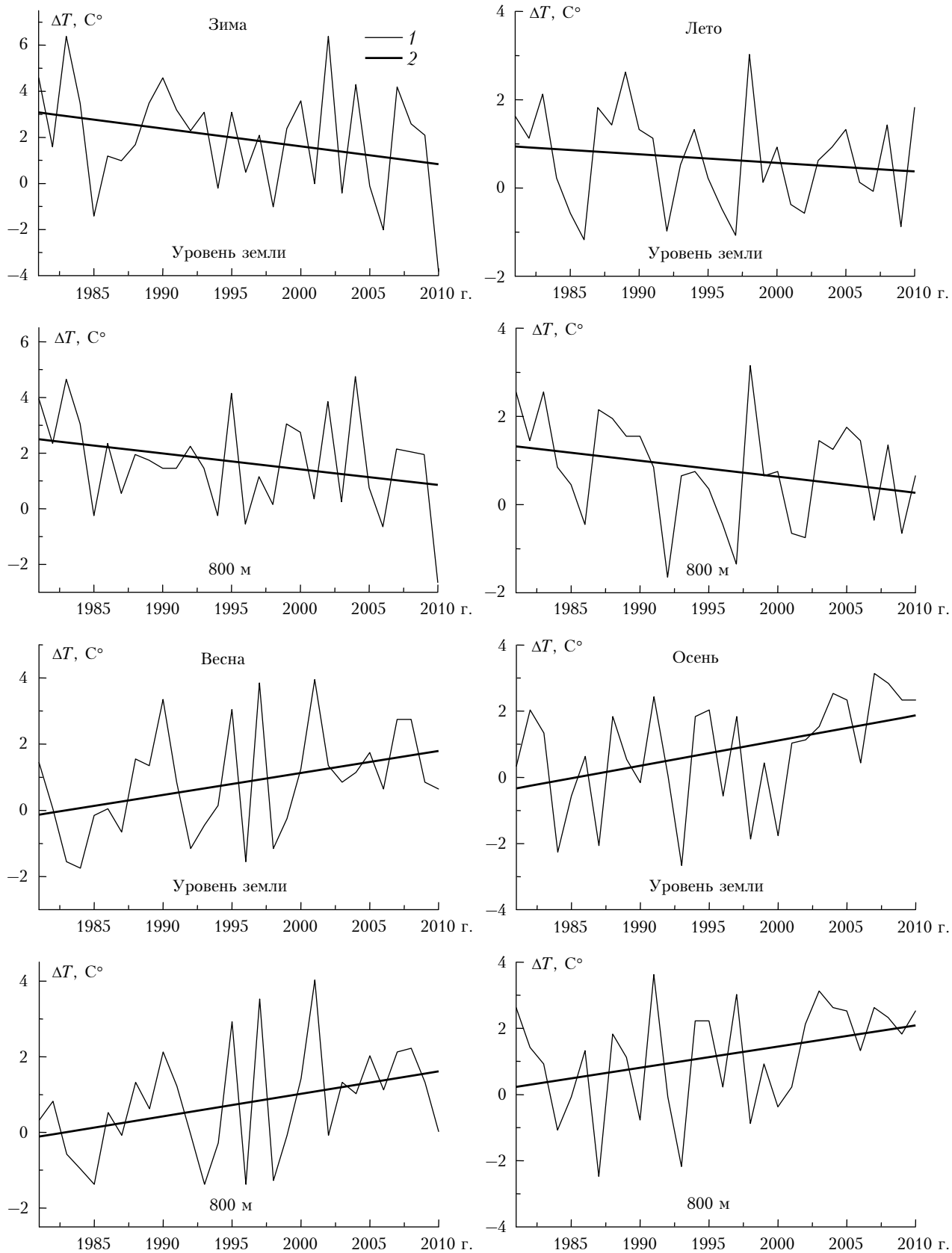


Рис. 2. Долговременные изменения аномалий среднесезонной температуры (1) и их линейные тренды (2) на высотах 0 и 800 м для ст. Омск

Чита

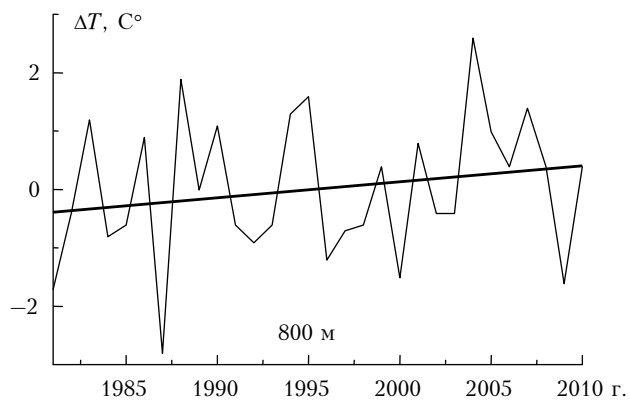
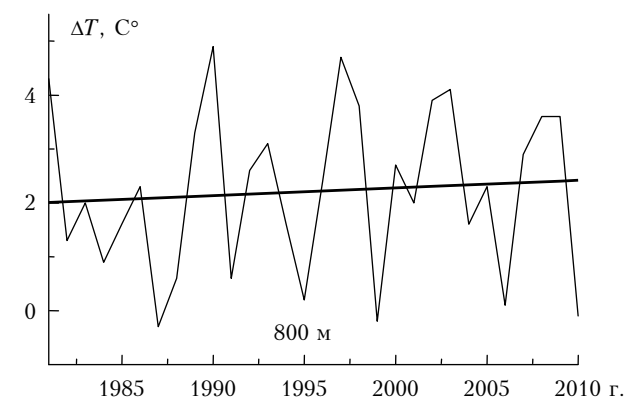
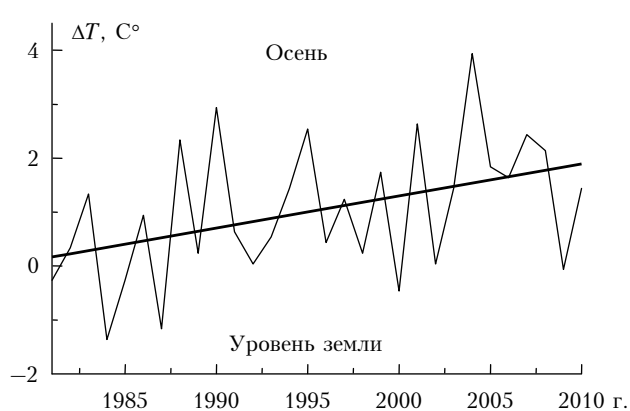
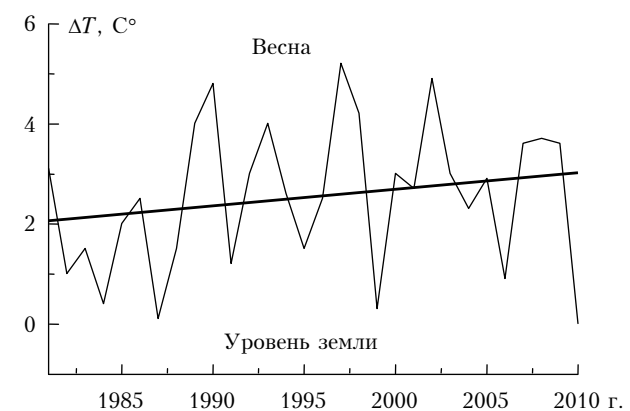
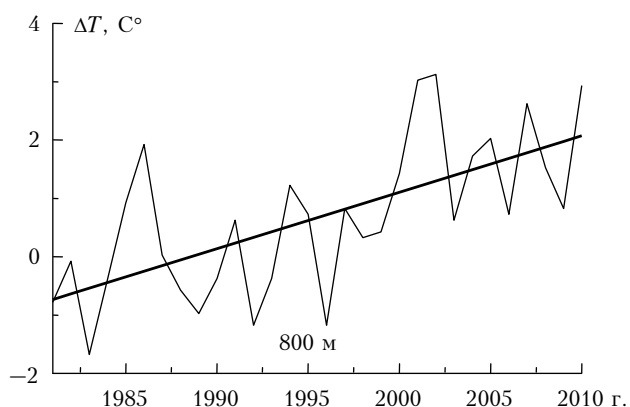
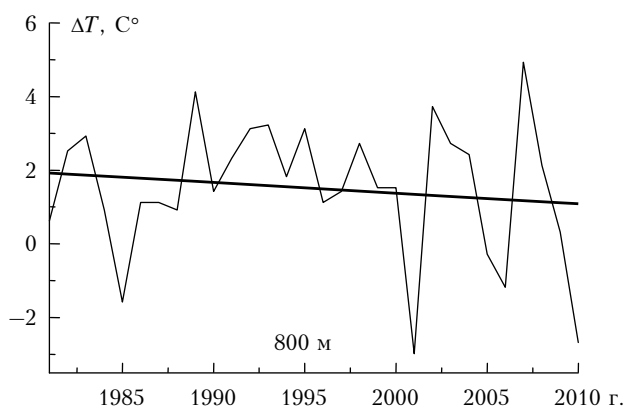
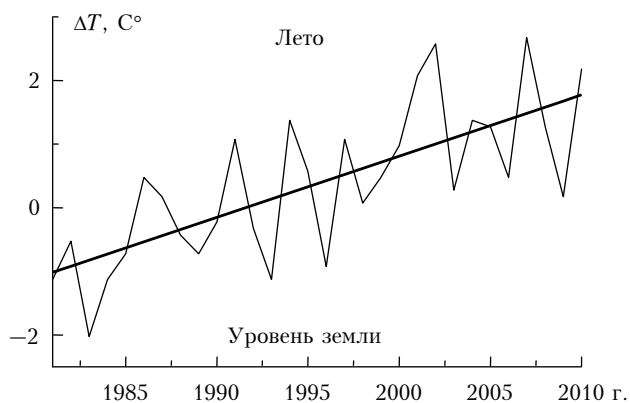
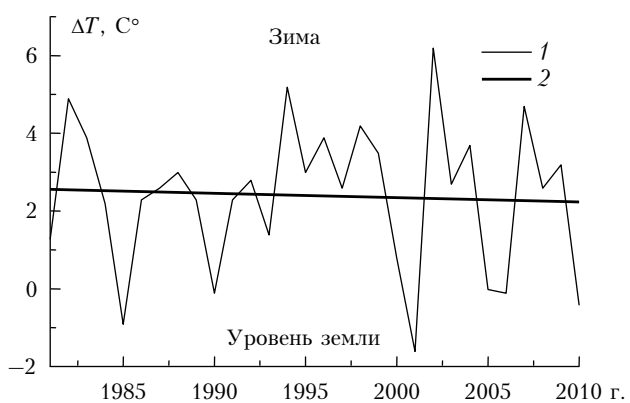


Рис. 3. Долговременные изменения аномалий среднесезонной температуры (1) и их линейные тренды (2) на высотах 0 и 800 м для ст. Чита

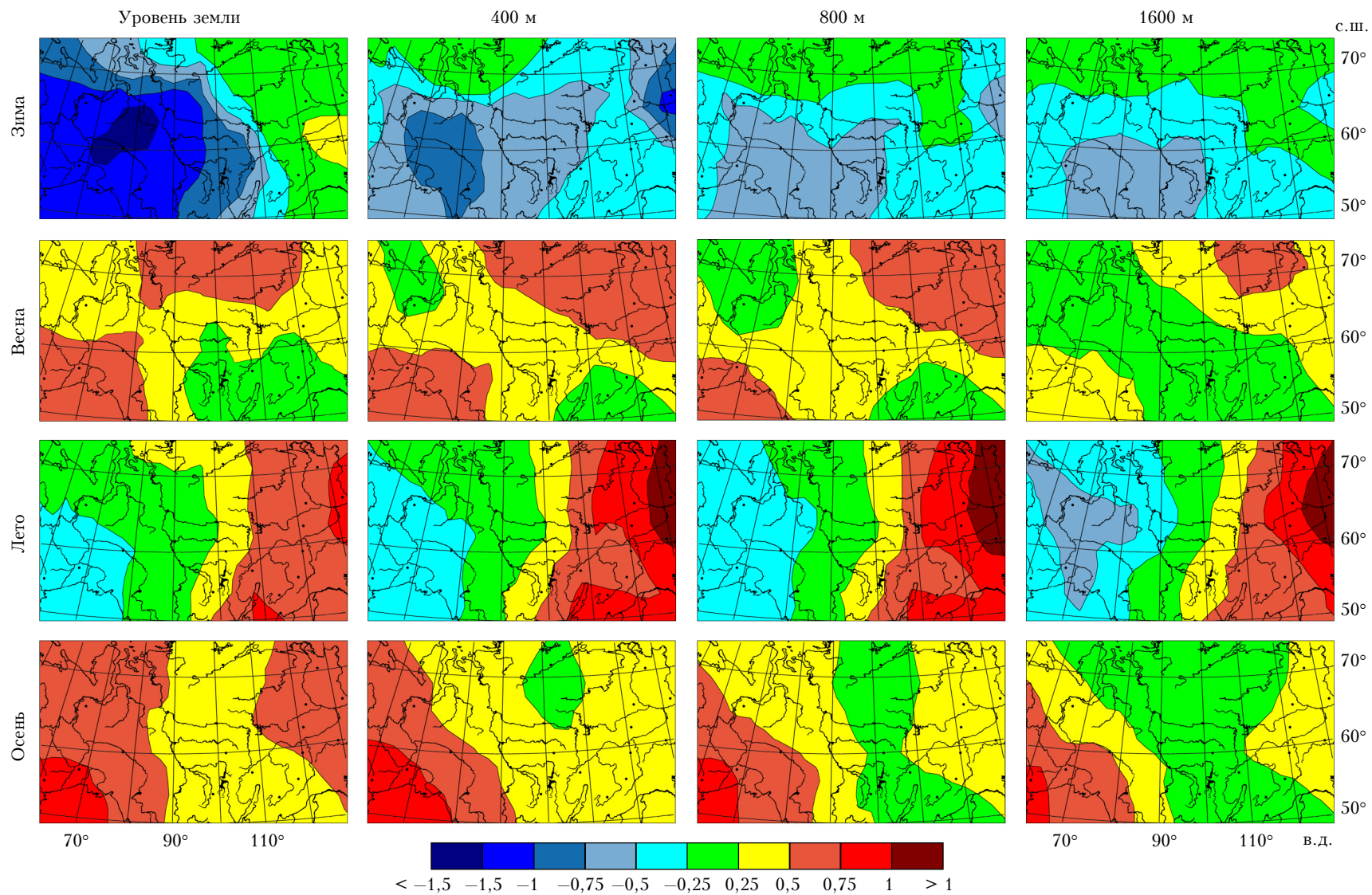


Рис. 4. Пространственное распределение коэффициентов линейных трендов среднесезонной температуры ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) в пограничном слое атмосферы для территории Сибирского региона

Весна. В отличие от зимы, весной во всем пограничном слое атмосферы Сибирского региона наблюдается повсеместное потепление, особенно хорошо выраженное в умеренных широтах (50–60° с.ш.) Западной Сибири и на территории Восточной Сибири (к северу от 60° с.ш.). Однако величины коэффициентов положительных трендов нигде не превышают 0,8 °С/10 лет. В то же время, как и зимой, величины этих коэффициентов в пределах всей территории Сибирского региона уменьшаются с высотой, достигая на уровне 1600 м своих наименьших значений (не более 0,4 °С/10 лет). Лишь на севере Якутии они могут достигать на том же уровне 0,6–0,7 °С/10 лет.

Лето. В этот период потепление регистрируется на всей территории Восточной Сибири, где коэффициенты положительных трендов могут достигать примерно 0,8–1,2 °С/10 лет.

Что касается территории Западной Сибири, то здесь во всем пограничном слое атмосферы преобладают отрицательные тренды, для которых характерны незначительные величины их коэффициентов (не более –0,4 °С/10 лет).

В отличие от зимы и весны, в летний период высотное уменьшение коэффициентов линейных трендов проявляется заметно слабее.

Осень. В этот сезон года, как и весной, во всем пограничном слое атмосферы Сибирского региона отмечается повсеместное потепление, особенно хорошо выраженное на юге Западной Сибири, где значения коэффициентов линейных трендов варьируют в основном в пределах 0,6–0,9 °С/10 лет. Кроме того, в осенний период также довольно ярко проявляется

высотная зависимость коэффициентов положительных трендов (их значения повсеместно уменьшаются с высотой), причем, начиная с 400 м, появляется и расширяется с высотой уже область отрицательных, но незначительных по величине трендов (не более –0,2 °С/10 лет), охватывающая на уровне 1600 м большую часть Сибири.

Таковы основные особенности линейных трендов среднесезонных аномалий температуры и их коэффициентов, оцененных для пограничного слоя атмосферы Сибирского региона на основе данных последнего 30-летнего периода (1981–2010 гг.).

3. Интенсивность изменения среднесезонной температуры в последнее десятилетие

Как и в случае со среднегодовой температурой, представляет большой интерес оценка регионального сезонного отклика на заметное ослабление интенсивности глобального потепления, обнаруженное во второй половине первого десятилетия XXI в., которое началось с 2006 г. [4]. Для проведения такой оценки (на примере Сибирского региона) воспользуемся табл. 1 и 2, содержащими для отдельных высотных уровней ПСА величины интенсивности изменения среднесезонной температуры (°С/10 лет), рассчитанные для зимы, весны, лета и осени по данным аэрологических наблюдений за последнее десятилетие (2001–2010 гг.).

Таблица 1

Величины интенсивности изменения среднесезонной температуры (°С/10 лет) в пограничном слое атмосферы Сибирского региона за последнее десятилетие (2001–2010 гг.). Зима и весна

Станция	Зима				Весна			
	Высота, м							
	0	400	800	1600	0	400	800	1600
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Западная Сибирь								
<i>Полярные широты (70–75° с.ш.)</i>								
Диксон	3,77	1,61	1,73	0,97	4,62	3,00	2,79	1,86
<i>Субполярные широты (60–70° с.ш.)</i>								
Салехард	1,98	1,06	0,82	0,40	0,61	0,10	0,20	0,53
Туруханск	–1,67	–0,48	–0,20	–0,19	2,85	1,93	1,53	0,65
Александровское	–3,33	–3,66	–2,34	–1,52	0,35	0,08	0,35	–1,06
Бор	–1,75	–2,12	–1,04	–0,53	1,40	0,68	0,58	–0,59
<i>Умеренные широты (50–60° с.ш.)</i>								
Верхнее Дуброво	–2,13	–1,42	–0,37	–0,08	0,59	1,02	0,95	0,17
Тобольск	–1,87	–0,74	–0,65	–0,27	1,19	1,50	1,12	0,22
Омск	–3,12	–2,89	–2,45	–1,87	–1,21	–1,08	–1,17	–1,78
Новосибирск	–3,28	–3,24	–2,24	–1,36	–0,21	–0,19	–0,22	–0,86
Енисейск	–1,85	–3,58	–3,41	–1,92	–0,27	–0,21	–0,27	–0,67

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Восточная Сибирь								
<i>Полярные широты (70–75° с.ш.)</i>								
Хатанга	0,61	0,07	–0,15	–0,51	4,51	2,70	2,24	2,18
Тикси	2,27	0,52	0,65	0,78	3,60	2,26	2,82	3,37
<i>Субполярные широты (60–70° с.ш.)</i>								
Тура	–1,33	–1,29	–1,39	–0,01	0,14	0,33	0,84	0,23
Оленек	1,19	–0,02	–0,28	–0,25	1,68	1,96	2,52	3,01
Жиганск	0,58	–1,00	–0,43	–0,35	1,98	2,44	2,54	1,84
Якутск	0,85	–0,94	–1,52	–0,45	1,22	0,56	0,20	0,13
Олекминск	0,37	–2,32	–1,73	–0,31	0,05	0,91	0,86	0,13
Верхоянск	1,25	–2,58	–1,67	–0,75	2,62	1,56	2,16	2,04
Виллюйск	1,54	–0,01	–0,51	–0,68	1,48	2,06	1,71	1,20
Ванавара	–0,48	–1,16	–1,84	–0,66	–0,76	–0,44	–0,16	–0,38
<i>Умеренные широты (50–60° с.ш.)</i>								
Киренск	–0,39	–1,43	–1,07	–0,16	–2,18	–0,98	–0,35	–1,04
Чара	–1,38	–0,19	–0,21	–0,28	–0,45	–0,42	–0,43	–0,33
Нижнеудинск	–2,95	–4,23	–3,67	–2,84	–0,18	–0,25	–0,05	–0,05
Багдарин	–0,32	–0,56	–0,25	–0,54	–0,91	–0,34	–0,39	–0,68
Чита	–0,47	–1,72	–1,06	–0,13	–1,70	–1,35	–1,32	–1,34

Таблица 2

**Величины интенсивности изменения среднесезонной температуры (°С/10 лет)
в пограничном слое атмосферы Сибирского региона за последнее десятилетие
(2001–2010 гг.). Лето и осень**

Станция	Лето				Осень			
	Высота, м							
	0	400	800	1600	0	400	800	1600
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Западная Сибирь								
<i>Полярные широты (70–75° с.ш.)</i>								
Диксон	0,84	–0,45	–0,90	–1,48	2,08	1,33	0,94	1,04
<i>Субполярные широты (60–70° с.ш.)</i>								
Салехард	–2,76	–1,16	–1,27	–1,25	1,87	0,71	0,95	1,13
Туруханск	–2,79	–2,70	–2,61	–2,47	1,35	1,29	1,48	1,20
Александровское	–0,54	–1,81	–1,75	–1,50	1,34	0,84	0,80	0,74
Бор	–0,59	–2,15	–1,73	–1,78	1,48	0,58	0,84	0,52
<i>Умеренные широты (50–60° с.ш.)</i>								
Верхнее Дуброво	–1,44	–2,30	–2,55	–2,59	1,47	1,65	2,10	1,96
Тобольск	–1,30	–1,44	–1,19	–0,92	2,27	1,78	1,46	1,63
Омск	–1,06	–0,32	–0,41	–0,11	1,61	0,85	0,81	0,91
Новосибирск	–0,83	–0,64	–0,53	–0,84	1,30	0,94	0,90	1,05
Енисейск	–0,15	–1,16	–0,95	–0,95	1,26	0,56	0,82	0,62
Восточная Сибирь								
<i>Полярные широты (70–75° с.ш.)</i>								
Хатанга	1,06	0,32	0,12	–0,33	1,40	1,17	0,73	0,17
Тикси	2,88	2,21	1,44	0,52	3,10	2,55	2,44	1,38
<i>Субполярные широты (60–70° с.ш.)</i>								
Тура	–0,99	–0,85	–0,63	–0,96	0,86	0,58	0,30	0,01
Оленек	–0,99	–1,01	–1,41	–1,75	0,72	0,20	0,53	0,48
Жиганск	0,77	1,24	1,17	1,08	1,41	1,06	1,06	0,65
Якутск	1,01	1,16	1,41	1,24	0,69	0,24	0,47	0,59
Олекминск	0,16	0,67	0,87	0,99	1,36	0,86	0,96	0,66
Верхоянск	0,56	1,50	1,95	1,18	2,76	0,47	0,03	0,15
Виллюйск	1,28	1,47	1,78	1,62	1,54	0,93	0,80	0,26
Ванавара	–1,64	–0,97	–0,86	–0,70	–0,26	–0,12	–0,22	–0,55

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Умеренные широты (50–60° с.ш.)</i>								
Киренск	–1,67	–1,49	–1,29	–1,53	–1,09	–0,36	–0,46	–0,36
Чара	–0,34	–0,56	–0,85	–0,79	–0,36	–0,61	–0,62	–0,48
Нижнеудинск	–0,50	–0,23	–0,16	–0,28	–0,64	–0,21	–0,05	–0,25
Багдарин	–0,52	–0,76	–0,65	–0,55	–0,78	–0,13	–0,07	–0,38
Чита	–0,47	–0,41	–0,67	–0,69	–0,77	–0,65	–0,74	–0,81

Зима. Для данного сезона (см. табл. 1) характерны следующие особенности:

– в зимний период последнего десятилетия практически на всей территории Сибирского региона и во всем пограничном слое атмосферы преобладает заметное похолодание, причем наибольшая его интенсивность, доходящая в ряде случаев до $-3,2 \dots -3,6$ °C/10 лет (см. данные ст. Омск, Новосибирск, Александровское и Енисейск), отмечается в умеренных широтах Западной Сибири, т.е. южнее 60° с.ш. Лишь в полярных широтах всего Сибирского региона, в районе Салехарда, а также на территории Якутии (к северу от 60° с.ш.), но только у земной поверхности, преобладает заметное потепление;

– зимой интенсивность изменения среднесезонной температуры за последнее десятилетие, практически повсеместно уменьшается с высотой, достигая минимума на уровне 1600 м, т.е. наблюдается такой же вертикальный ход, как и в случае с аналогичной температурой, но полученной при осреднении за весь 30-летний период с 1981 по 2010 г.

Весна. В отличие от зимы, весной (см. табл. 1) пространственное распределение областей потепления и похолодания на территории Сибири имеет иной характер. Если в пограничном слое атмосферы полярных и субполярных широт всего Сибирского региона (т.е. к северу от 60° с.ш.) и на двух станциях Западной Сибири (Верхнее Дуброво и Тобольск) преобладает существенное потепление с максимумом интенсивности его изменения (порядка 2,0–4,6 °C/10 лет) в полярной зоне, то в умеренных широтах этого региона (к югу от 60° с.ш.) во всем ПСА отмечается заметное похолодание, однако не столь интенсивное, как в зимний период.

Лето. В этот сезон (см. табл. 2) картина распределения областей потепления и похолодания по территории Сибирского региона вновь меняется. В частности, на всей территории Западной Сибири и во всем пограничном слое атмосферы преобладает существенное похолодание с максимумом своей интенсивности (до $-2,8$ °C/10 лет) вблизи Полярного круга, где расположены ст. Салехард и Туруханск. Лишь в районе ст. Диксон, да и то вблизи земной поверхности, отмечается заметное потепление (порядка 0,8 °C/10 лет).

В то же время в ПСА на территории Восточной Сибири на фоне такого же похолодания (с почти повсеместной интенсивностью от $-0,5$ до $-1,7$ °C/10 лет) выделяются две области существенного потепления

(до 1,8–2,9 °C/10 лет), одна из которых находится к северу от 70-й параллели (ст. Хатанга и Тикси), а вторая охватывает территорию Якутии, расположенную в субполярной зоне (60–70° с.ш.) к востоку от 100-го меридиана.

Осень. И наконец, осенью (см. табл. 2) на большей части Сибирского региона, исключая лишь умеренные широты Восточной Сибири, преобладает во всем пограничном слое атмосферы существенное потепление, достигающее 2,0–3,0 °C/10 лет.

В то же время в южной части Восточной Сибири (к югу от 60° с.ш.) располагается область заметного похолодания, но в основном с умеренной интенсивностью (не более $-0,8$ °C/10 лет).

Закключение

Таким образом, проведенный анализ долговременных изменений среднесезонной температуры в пограничном слое атмосферы Сибирского региона показал, что:

- во-первых, пространственное положение областей интенсивного повышения или понижения среднесезонной температуры на территории Сибири меняется от сезона к сезону;

- во-вторых, в повышение среднегодовой температуры, наблюдаемое на значительной части территории Сибири в последнее 30-летие (1981–2010 гг.) [1], главный вклад вносят изменения среднесезонной температуры в весенний, летний и осенний периоды, а не в зимний период, когда преобладает процесс похолодания;

- в-третьих, наибольший вклад в понижение интенсивности регионального потепления в последнем десятилетии (2001–2010 гг.), когда проявилась тенденция к заметному замедлению глобального похолодания [4], внесли зимний и летний сезоны, поскольку для этих периодов года характерно существенное понижение среднесезонной температуры, отмечаемое во всем пограничном слое атмосферы и почти на всей территории Сибирского региона.

1. Комаров В.С., Лавриненко А.В., Ильин С.Н., Ломакина Н.Я., Горев Е.В. Долговременные изменения среднегодовой и среднесезонной температуры в пограничном слое атмосферы над территорией Сибири. Часть 1. Изменения среднегодовой температуры // Оптика атмосфер. и океана. 2011. Т. 24, № 8. С. 684–690.
2. Кабанов М.В. Сезонные закономерности наблюдаемого потепления в Сибири // Оптика атмосфер. и океана. 2009. Т. 22, № 1. С. 7–10.

3. *Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1. Изменение климата.* М.: Росгидромет, 2008. 277 с.
4. *Переведенцев Ю.П.* Теория климата. Казань: Изд-во Каз. гос. ун-та, 2009. 509 с.
5. *Шерстюков А.Б.* Изменение климата и их последствия в зоне многолетней мерзлоты России. Обнинск: ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2009. 127 с.
6. *Комаров В.С., Лавриненко А.В., Ломакина Н.Я., Попов Ю.Б., Попова А.И., Ильин С.Н.* Пространственная экстраполяция метеорологических полей в области мезомасштаба на основе четырехмерной смешанной динамико-стохастической модели и аппарата калмановской фильтрации // *Оптика атмосф. и океана.* 2004. Т. 17, № 8. С. 651–656.

V.S. Komarov, A.V. Lavrinenko, S.N. Il'in, N.Ya. Lomakina, E.V. Gorev. **Long-term changes of temperature within the atmospheric boundary layer of Siberia. Part 2. Changes of average seasonal temperature.**

The analysis results of the long-term change trends of average seasonal temperature within the atmospheric boundary layer of Siberian region over 1981–2010 estimated by the observed data of 25 aerological stations for winter, spring, summer, and autumn are represented. It has been found that spring, summer, and autumn periods, but not winter (as it is adopted to consider), make the main contribution to the processes of regional warming for the noted last thirty years. It is shown that in the last ten years, when the trend to a slowdown of the global warming was exhibited, it becomes also apparent at a regional level as a result of the considerable drop of the average seasonal temperature in winter and summer, that is observed throughout the atmospheric boundary layer and almost all area of Siberian region.