

Investigation of microclimate and spatio-temporal structure of surface inversions in the winter conditions of the Arctic

Konstantinov P.I., Varentsov M.I., Surkova G.V., Platonov V.S., Kolennikova M.A., Boiko A.P., Androsova E.E., Kuksova N.E., Perkhurova A.A., Krylov A.A., Varentsov A.I., Vorotilova P.G., Osipov A.M., Malytin I.V., Kospanov A.A., Melik-Bagdasarova A.S., Kozlov F.A., Bostonbaev A.S., Semenova A.A., Kostrova U.V.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
E-mail: kostadini@mail.ru

CITES'2019

МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ ШКОЛА И КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО-ИНФОРМАЦИОННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ ДЛЯ НАУК ОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

The features of temperature stratification in the surface boundary layer of the atmosphere have a great influence on the microclimatic conditions, as well as on the spatial distribution of various pollutants. Temperature inversion is one of the key phenomena creating severe meteorological conditions and contributing to the accumulation of pollutants in the surface layer of the atmosphere. In accordance with long term observations, it can be stated that the Arctic region is prone to the formation of temperature inversions (observed on more than 30% of the days), especially on the winter season. What is more, the cities in the described area experience a formation of strong “urban heat islands”. This phenomenon of spatial distribution is characterized by an increase of air temperature in the city center compared with its surroundings. It reaches its greatest strength and prominence in the cold season, when the differences in the temperature are the greatest.

In consideration of the aforementioned climatic patterns, the city of Apatity, Murmansk region, was chosen as a testing ground for studying the climatology of polar cities, in particular, in order to study the fine structure of surface inversions, their changes over time, and interaction with the urban heat island.

To study the fine vertical structure of inversions, vertical sounding was performed using thermal “braid” (rising to a height of 100 m, the sensors were installed every 10 m) and quadcopters equipped with temperature sensors (rising to 200-250 m). To study the characteristics of the inversion within the urban heat island and in the background area temperature profiles through the city of Apatity were created using iButton temperature sensors. Gradient masts with temperature sensors at altitudes of 1.5 and 3 m were installed in the center of the city and in the background area. Netatmo sensors were also used to monitor changes in weather parameters in real time. All observations were carried out in homogenous synoptic conditions set by an anticyclone ridge of an area of high pressure centered over the Kara sea.

During the study, the fine structure of the surface inversion was considered for the first time, both at night and at daytime. Under the conditions of an intensive surface inversion, vertical soundings of the surface layer of the atmosphere were carried out in the lower 100 meters using a DJI 4 quadcopter. As a part of the experiment, temperature profiles obtained by iMet-XQ, iMet-XF sensors and the 10 iButton thermal “braid” were compared. The acquired results showed great similarities with each other. Also, simultaneous sounding in the urban and background points demonstrated noticeable differences in the intensity of surface inversions, which, apparently, is the result of the influence of the urban heat island of Apatity.

Horizontal soundings were also performed using a mobile measuring complex consisting of an automatic meteorological station (AMS). The soundings verified the readings of both iButton sensors installed throughout the city and 2 AMS Davis Vantage Pro 2. What is more, the acquired results showed a more detailed image of temperature distribution in the city. Under the conditions of anticyclonic weather, the spatial heterogeneity of temperature within urban landscapes was considered by analyzing the readings of the iButton sensors and data from two AMS Davis Vantage Pro2. The contrasts of air temperature observed simultaneously according to measurements at a height of 2 meters within and outside the city reached 10°C. It was shown that under favorable synoptic conditions in the city, a powerful heat island is formed, which is a key factor influencing the spatial temperature distribution in the city and its surroundings.

In addition to meteorological measurements, a basis was laid for subsequent microscale modeling of atmospheric processes inside the urban canopy, for which, as a result of route observations, the online database of available data on the shape and height of buildings of the central core of the city of Apatity was finally completed.

Moreover, the assessment of the accuracy of mesoscale forecast modeling was performed. The evaluation was based on the ability of the models to predict the phenomena mentioned above using the WRF-ARW modeling package.



Экспедиционное исследование микроклиматических различий, а также пространственно-временной структуры приземных инверсий в зимних условиях Заполярья (на примере города Апатиты)

Константинов П.И., Варенцов М.И., Суркова Г.В., Платонов В.С., Коленникова М.А., Бойко А.П., Андросова Е.Е., Куксова Н.Е., Перхурова А.А., Крылов А.А., Варенцов А.И., Воротилова П.Г., Осипов А.М., Малютин И.В., Коспанов А.А., Мелик-Багдасарова А.С., Козлов Ф.А., Семенова А.А., Кострова У.В., Бостонбаев А.С.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Россия
E-mail: kostadini@mail.ru

Особенности температурной стратификации в приземном слое атмосферы оказывают большое влияние на микроклиматический режим, а также на пространственное распределение примесей. Температурная инверсия – одно из ключевых явлений, создающих неблагоприятные метеорологические условия и способствующих накоплению загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы. По данным многолетних наблюдений, в Заполярье приземная инверсия формируется относительно часто (более 30% дней в году), в особенности, в зимний период. Характерной особенностью, присущей для городских ландшафтов, является формирование «городского острова тепла» – участка, микроклимат, которого характеризуется повышенными по сравнению с загородной местностью температурой воздуха. Данное явление сильнее всего проявляется в холодный период года, когда контрасты температуры наиболее велики. Недавние исследования показали, что эффект городского острова тепла характерен и для городов, находящихся за полярным кругом.

В связи с этим в качестве полигона для исследования климатологии заполярных городов, в частности изучения тонкой структуры приземных инверсий, их изменения с течением времени, а также взаимодействия с городским островом тепла был выбран город Апатиты, Мурманской области.

Для изучения тонкой вертикальной структуры инверсий выполнялось вертикальное зондирование с использованием термо-«косы» (подъем до высоты 100 м, датчики располагались через каждые 10 м) и квадрокоптеров, оборудованных датчиками температуры (подъем до 200-250 м). Для исследования особенностей инверсии в пределах городского острова тепла и на фоновой территории через г. Апатиты были заложены температурные профили с использованием температурных датчиков iButton. В центре города и за его пределами были установлены градиентные мачты с датчиками температуры на высотах 1.5 и 3 м. Также использовались датчики Netatmo, позволяющие следить за изменениями параметров погоды в режиме реального времени. Все наблюдения проводились на фоне однородной синоптической ситуации, под влиянием гребня антициклона с центром над Карским морем.

В ходе исследования впервые была рассмотрена тонкая структура приземной инверсии – как в ночное, так и в дневное время суток.

В условиях мощной приземной инверсии была проведено вертикальное зондирование приземного слоя атмосферы в нижних 100 метрах с помощью квадрокоптера системы DJI 4. В рамках эксперимента выполнено сравнение профилей температуры, полученных с помощью датчиков iMet-XQ, iMet-XF и косы из 10 термохронотомов iButton, которое показало сопоставимые результаты. Также синхронное зондирование в городской и фоновой точках продемонстрировало заметные различия в мощности приземных инверсий, что, по-видимому, является результатом воздействия городского острова тепла Апатитов.

Так, экспериментальное зондирование проводилось в фоновой точке (берег озера Имандра, поселок Тик-Губа) в ночь с 1 на 2 февраля в центре города и с точки на юго-восточной окраине города (проспект Сидоренко, г. Апатиты). Разница между этими точками по высоте составляет всего 8 метров, что минимизирует влияние рельефа на различия температурной стратификации в приземном слое. Так как проспект Сидоренко расположен на окраине города, влияние острова тепла проявляется здесь гораздо слабее, чем в центре города. В результате мы видим, что вертикальные профили (рис. 2) температуры очень хорошо сопоставляются, кроме нижних 20 метров. На пр. Сидоренко наблюдалась очень мощная инверсия с интенсивностью 4-5 °C в нижних 20м, после чего следовал слой изотермии. В центре города интенсивность инверсии составила всего 1°C, но на высоте порядка 20 метров и выше температурный профиль практически идентичен тому, что наблюдался на окраине города. Если сравнивать с результатами, полученными часом ранее, можно заметить, что слой изотермии, наблюдавшийся у поверхности, переместился на высоту от 20 до 70 метров, а у земли начала формироваться инверсия. А так как подобная структура наблюдается на окраине города и никак не проявляется на первой точке на Тик-Губе, это может свидетельствовать в пользу влияния городского острова тепла на температурную стратификацию в приземном слое.

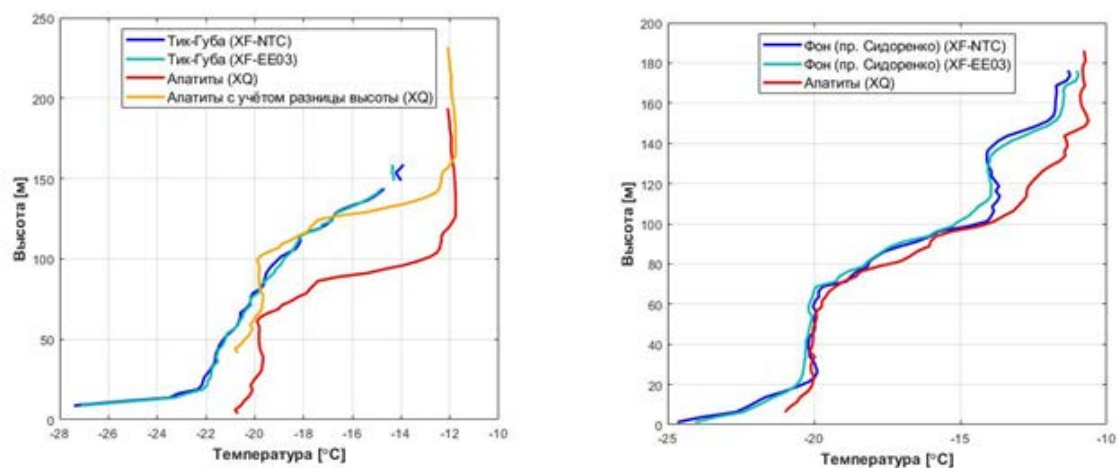


Рис. 1. Профили температур по итогам ночного синхронного зондирования Тик-Губа – Апатиты (03:15 02.02.2019) и пр. Сидоренко – Апатиты (04:10 02.02.2019).

Посредством горизонтального зондирования с помощью передвижного измерительного комплекса была не только поверена репрезентативность показаний датчиков iButton и двух AMC Davis Vantage Pro2, но и дополнена пространственная картина распределения температуры. Наибольшие контрасты между центром города и окружающими его ландшафтами были получены в ночь с 02 на 03 февраля, когда в центре городского пространства температура воздуха составляла порядка -24°C , на периферии города -26°C , на озере Имандра температура воздуха была ниже -32°C . На фоновой территории, имеющей ту же абсолютную высоту над уровнем моря, что и центр Апатитов, температура воздуха составила -28°C , что также обуславливает наличие температурных контрастов, вызванных не только рельефом, но и городским островом тепла.

В условиях антициклональной погоды была рассмотрена пространственная неоднородность температуры в рамках городских ландшафтов путем анализа показаний датчиков iButton и данные двух AMC Davis Vantage Pro2. По результатам наблюдений хорошо прослеживался остров тепла города Апатиты. На картах (рис. №1, 2) прослеживается последовательное изменение температуры от периферии города к центру. Притом положительные значения соответствуют районам с повышенной температурой.

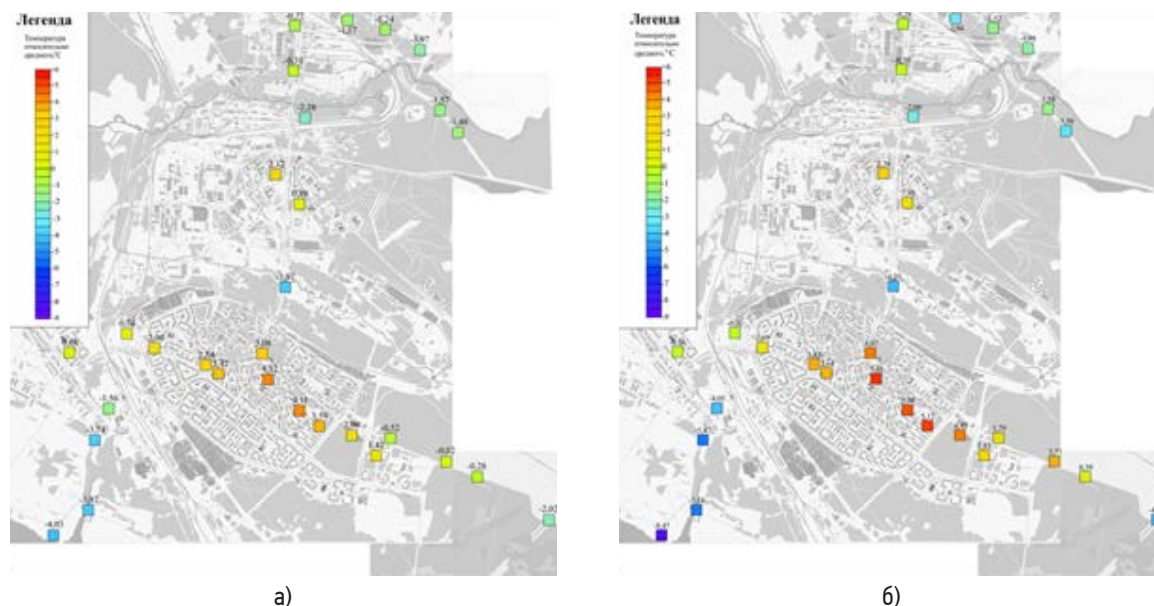


Рис.2. Отклонение температуры в точке наблюдения от среднего по всем датчикам iButton. На рис.2а за место нуля принята температура $-25,4^{\circ}\text{C}$, и на картосхеме показаны средние значения за 01.02–03.02. На рис.2б за место нуля принята температура $-23,87^{\circ}\text{C}$, показан максимально интенсивный городской остров тепла.

В центральной части города в среднем за холодный период температура была на 8°C больше, чем на станции Тик-Губа – самой холодной точке исследуемой местности. Более того, достаточно сильно прослеживался результат действия так называемого городского каньона, который в условиях выхолаживания переотражает тепловое излучение зданий, уменьшая скорость охлаждения зданий и местности вокруг них. Единовременные контрасты температуры воздуха по данным измерений на высоте 2 метра

в пределах и за городом достигали 10°C. Было показано, что при благоприятных синоптических условиях в пределах города формируется мощный остров тепла, являющийся ключевым фактором формирования пространственного распределения температуры в городе и его окрестностях.

Помимо метеорологических измерений, была заложена основа для последующего микромасштабного моделирования атмосферных процессов внутри городского полога, для чего в результате маршрутных наблюдений была окончательно заполнена онлайн-база доступных данных о форме и высотах зданий центрального ядра г.Апатиты.

Также было проведено исследование успешности воспроизведения подобных явлений региональными прогностическими моделями, и даже предпринята попытка смоделировать вышеописанные процессы в приземном пограничном слое с помощью модельного пакета WRF-ARW.

Исследование было выполнено при поддержке проекта РФФИ 18-05-60126.

River runoff simulation in the INM RAS-MSU land surface scheme

¹Medvedev A., ^{2,1}Stepanenko V., ^{3,2}Bogomolov V.

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

² RCC MSU, Moscow, Russia

³ Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia

E-mail: alexbear95@yandex.ru

River runoff is one of the components of the global hydrological cycle. In the INM RAS-MSU model river runoff set the flow of fresh water into the ocean that affecting the thermohaline circulation. Besides, the runoff is a convenient criterion for the land model validation – it characterizes the errors in a water balance calculation on the catchment, wherein a runoff measured data is accurate and well-covered. Need for improvement of runoff calculation in Earth system models and weather forecast systems are justified by following circumstances:

- the river runoff determine carbon inflow in ocean [Malakhova and Golubeva, 2007; Raymond et al., 2013] that is not enough considered now in climate models;
- a surface area of rivers is about $0.58 \pm 0.06\%$ [Allen and Pavelsky, 2018] of surface area, but heat and radiation fluxes from them are usually not explicit considered in models; in medium-term perspective rivers are expected to be added as a particular surface tile within the framework of the mosaic approach and so runoff will be their main characteristic which determines surface area;
- a realistic calculation of rivers level and discharge in climate and weather forecast models would be between the most demanded products of calculation.

Studies of the accuracy of the river runoff calculation in the INM-RAS MSU model have been started only in recent years [Nasonova et al., 2018]. The report highlights the study of the sensitivity of the runoff-calculation block to the correction of outer parameters and functional form of some parametrizations. The success of the introduction of certain solutions was estimated by comparing the values of the simulated and observed runoff in the mouths of large (resolved on the model grid) rivers. Verification was mainly carried out for the Northern Dvina basin [Stepanenko et al., in prep.]. The choice of the basin was justified by the criteria of uniformity of the relief, minimization of anthropogenic change of the territory and regulation of the runoff, the absence of complicating factors – permafrost influence of soil characteristics, glacier supply, etc. The ERA-Interim reanalysis for 1979-1994 was used as a source of meteorological forcing (spatial resolution $1^\circ \times 1^\circ$, temporal – 6 hours). For river net construction global river flow direction and slope data from ISIMIP project was used (spatial resolution $0.5^\circ \times 0.5^\circ$) [Döll and Lehner, 2002].

The changes were made in INM RAS-MSU model are listed below.

1) Increase the resolution of the spatial grid. Initial model version worked on a $2^\circ \times 1.5^\circ$ grid; the transition to the $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ grid was made, with the replacing of initial surface types and soil size distribution [Wilson and Henderson-Sellers, 1985] with ECOCLIMAP-I data [Champeaux et al., 2005] and ISIMIP2b data for lake distribution [Lehner and Doll, 2004; Choulga et al., 2014].

2) Correction of function describing the stress of stomatal resistance due to soil moisture. In initial model version the stress-factor had the form of a decreasing linear function on the “wilting interval” - for critical values of the available soil moisture; the interval was shortened by the experience of other models [e.g., Klimarechenzentrum et al., 1992].

2) Recalculation of the dynamic roughness map. Dynamic roughness in the initial model version was calculated through a dependence on the absolute height of the relief; it was replaced by the assignment of parametric values for different surface tiles [Davenport et al., 2000] and further weighted cell averaging according to the mosaic concept.