



# ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

и школа молодых ученых по измерениям, моделированию  
и информационным системам для изучения окружающей среды

# enviromis 2016

INTERNATIONAL CONFERENCE

and Early Career Scientists School  
on Environmental Observations, Modeling and Information Systems

# SELECTED PAPERS



4. Горбатенко В.П., Ипполитов И.И., Поднебесных Н.В. Циркуляция атмосферы над Западной Сибирью в 1976-2004 гг. //Метеорология и гидрогеология.- 2007.- № 5.- С.28-36.
5. Горбатенко В.П., Ипполитов И.И., Логинов С.В., Поднебесных Н.В., Харюткина Е.В. Роль циркуляционных факторов в потеплении климата Сибири// Вестник Томского государственного университета, 2011. - т. - № 346. - С. 174-180.
6. Горбатенко В.П., Ипполитов И.И., Логинов С.В., Поднебесных Н.В. Исследование циклонической и антициклонической активности на территории Западной Сибири по данным реанализа NCEP/DOE AMIP-II и синоптических карт //Оптика атмосферы океана, 2009. - т.22 - № 1. - с. 38-41.

## AIR TEMPERATURE ESTIMATION OVER THE DIFFICULT TERRAIN IN THE TUNKA DEPRESSION

<sup>1</sup>Chupina O.S., <sup>2,3</sup>Voropay N.N.

<sup>1</sup>Tomsk State University, Tomsk, Russia

<sup>2</sup>V.B.Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia

<sup>3</sup>Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia

E-mail:chupina.ru.3@mail.ru, voropay\_nn@mail.ru

Weather stations in mountain areas are located in the river basin. The air temperature in the mountains is different from the temperature at these weather stations. Therefore, many scientists study the features of the climate in the mountains. Expedition observations of meteorological characteristics are conducting and new methods for temperature field calculation are developing. Air temperature data are restored to assess the temperature variations of the remote areas in time and space.

For example, V.V. Sevastyanov has developed method for calculation of the long-term monthly air temperature field at heights of 500, 1000, 1500, 3000, 5000 m a.s.l. in the Altai and Sayan mountains. Calculations were made for 1961 - 1971 years.

In this study the monthly air temperatures, which were obtained by V.V. Sevastyanov, were compared with the measured average monthly temperatures. The measured temperatures were obtained during the field studies on the territory of the Tunka Depression in 2013. Difference between the calculated and the measured temperatures varied from -12.1 to +6.7 °C in winter and from -1.8 to +2.1 °C in summer. We used the data for June, July and August from 2009 to 2015 for the six closest upper-air stations (Emelyanovo, Angarsk, Barnaul, Kyzyl, Nizhneudinsk, and Khakassia). We calculated the monthly air temperature at different heights - 730, 1500, 3000, 5500, 9000 m a.s.l. by the Sevastyanov method. Difference between calculated and the measured temperature is an average of 0.5°C and varied from -1.7 to +2.8 °C.

The air temperature in the free atmosphere (above 1500 m) calculated basing on data for 1961-1971 does not differs significantly from the present values. Hence, in the upper atmosphere temperature condition does not change.

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НАД СЛОЖНЫМ РЕЛЬЕФОМ В РАЙОНЕ ТУНКИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ

<sup>1</sup>Чупина О.С., <sup>2,3</sup>Воропай Н.Н.

<sup>1</sup>Томский государственный университет, Томск, Россия

<sup>2</sup>Институт географии им.В.Б.Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>3</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

E-mail:chupina.ru.3@mail.ru, voropay\_nn@mail.ru

При изучении климатических, погодных условий и физических процессов в атмосфере горных районов, исследователи в настоящее время сталкиваются с определенными трудностями. Это вызвано, прежде всего, недостатком имеющейся в распоряжении необходимой информации. Обычные поля метеорологических величин в горах искажаются под влиянием орографии и местной адвекции, при этом возникает необходимость учитывать это влияние путем уточнения методики расчета климатических показателей [1].

Изучением особенностей климата в горных районах заинтересовано множество ученых. Проводятся экспедиционные наблюдения за метеорологическими характеристиками, разрабатываются методики расчета температурных полей, которые помогают восстановить данные, получить общую оценку температурного режима над труднодоступными районами во временном и пространственном разрешении.

Особенным интересом пользуется изучение вертикального профиля температуры воздуха. На температуру воздуха в горном рельефе влияет множество факторов, начиная от типа подстилающей поверхности, заканчивая особенностями местной циркуляции. Кроме того свой отпечаток на распределении температуры с высотой откладывает инверсионная деятельность, ярко выраженная в зимний период, вызванная скольжением холодного воздуха со склонов в котловину, в безоблачную и безветренную погоду.

Касаясь температурного режима в свободной атмосфере, где не учитывается шероховатость подстилающей поверхности, следует отметить, что он будет отражать общие процессы, сформированные под воздействием только основных климатообразующих факторов над исследуемой территорией.

Территория нашего исследования находится в пределах юго-западной части Байкальской рифтовой зоны в Южно-Сибирской физико-географической области. На зональные особенности климата этого региона накладываются местные условия, обусловленные сочетанием высокогорного рельефа и относительно пониженных межгорных впадин, широтной ориентацией основных орографических элементов, региональными особенностями атмосферной циркуляции. Тункинский хребет и одноименная система впадин протягиваются на 175 км в широтном направлении. Хребет представляет собой горное сооружение с резко расчлененным альпийским рельефом. Все метеорологические станции расположены в долинах рек и не дают представления о климатическом режиме в пределах господствующих здесь высокогорных форм рельефа. [2]. С 2009 г. на территории котловины в рамках комплексных географических исследований ИГ СО РАН ведутся наблюдения за температурой воздуха в диапазоне высот 720-2000 м над ур.м. с помощью электронных термодатчиков DS-1922 [3].

Задача исследования – изучить температурный режим на разных высотах в пределах Тункинской котловины. Для достижения поставленной цели необходимо восстановить данные по всей площади котловины. Так как в нашем распоряжении имеются только данные наблюдений в днище котловины и на ее склонах предлагается использовать методику, разработанную В.В. Севастьяновым по расчету температуры воздуха в горных районах Алтая и Саяна, в которой он использует данные с сети аэрологических и наземных метеорологических станций [1].

В.В. Севастьяновым были рассчитаны поля многолетних средних месячных температур воздуха на высотах 500, 1000, 1500, 3000, 5000 м над ур. м. Выбраны аэрологические станции, находящиеся на расстоянии 2000-3000 км от точки, в которую следовало интерполировать значения. Многолетние среднемесячные значения температуры воздуха за период 1961-1971 гг. с этих станций использованы в расчетах. Координаты станций переводились в декартовую систему, далее вычислялись весовые коэффициенты  $A_0$ ,  $A_1$ ,  $A_2$ , отражающие поле температуры воздуха на разных высотах над исследуемой территорией. Коэффициенты были получены с помощью системы линейных уравнений (1).

$$\begin{cases} A_0 \cdot N + A_1 \cdot \sum_{i=1}^N x_i + A_2 \cdot \sum_{i=1}^N y_i = \sum_{i=1}^N T_i, \\ A_0 \cdot \sum_{i=1}^N x_i + A_1 \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2 + A_2 \cdot \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i = \sum_{i=1}^N x_i \cdot T_i, \\ A_0 \cdot \sum_{i=1}^N y_i + A_1 \cdot \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i + A_2 \cdot \sum_{i=1}^N y_i^2 = \sum_{i=1}^N y_i \cdot T_i, \end{cases} \quad (1)$$

$N$  - число влияющих станций, выбранных для расчета поля температуры;  $x$  и  $y$  – прямоугольные координаты станций;  $T$  - температура воздуха.

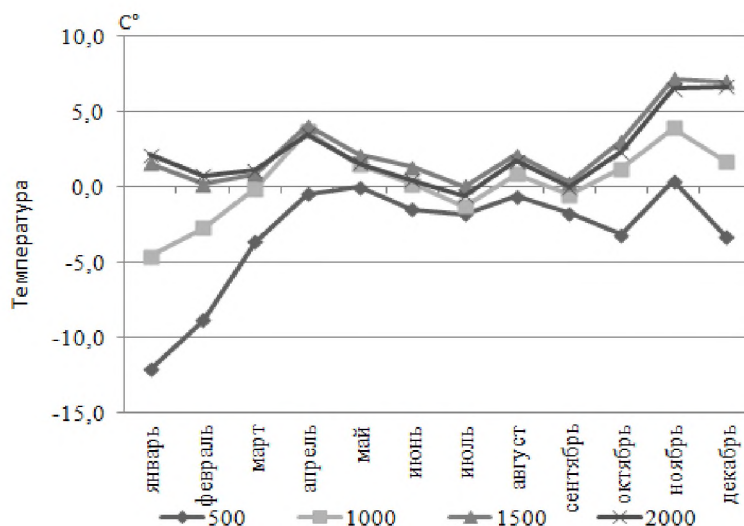
На следующем этапе по формуле (2) рассчитывалась температура воздуха над изучаемой территорией:

$$T(x, y) = A_0 + A_1 \cdot x + A_2 \cdot y. \quad (2)$$

Тункинская котловина является частью расчетной области. Рассчитанные среднемесячные значения (по данным с 1961 по 1971 гг.) сравнивались со среднемесячными температурами, которые были получены в ходе экспедиционных работ на территории Тункинской котловины в 2013 году. Для анализа выбраны измерительные площадки, которые находятся примерно на той же высоте, где есть рассчитанные значения температуры воздуха. Самая низкая точка – метеостанция Тунка (720 м над ур. м.), самая высокая – верхняя граница леса (1970 м над ур. м.).

**Таблица 1.** Средние месячные температуры воздуха на различных высотах

Месяц \ Н, м	Расчетные (1961-71 гг.)				Измеренные (2013 г.)			
	500	1000	1500	2000	720	950	1420	1970
I	-15,8	-13,3	-15,7	-17,8	-27,9	-17,9	-14,1	-15,7
II	-13,9	-12,6	-15,8	-18,7	-22,7	-15,3	-15,6	-17,9
III	-6,9	-6,1	-8,8	-11,9	-10,5	-6,2	-8,0	-10,8
IV	2,1	-1,5	-4,4	-8,1	1,6	2,2	-0,3	-4,6
V	9,1	7,8	4,5	0,8	9,1	9,2	6,6	2,3
VI	16	13,5	10,4	6,9	14,5	13,7	11,7	7,3
VII	18,9	16,8	13,9	10,2	17,1	15,5	13,9	9,6
VIII	17,2	14,1	11,7	8,2	16,6	15,0	13,8	9,9
IX	9,2	7,3	5,1	1,6	7,4	6,8	5,4	1,6
X	2,3	-1	-3	-5,8	-0,9	0,2	0,0	-3,5
XI	-8,3	-8,7	-11,3	-14,3	-7,9	-4,8	-4,1	-7,8
XII	-15,6	-13,8	-15,5	-18	-19,0	-12,1	-8,5	-11,3



**Рис. 1** – Разница температур воздуха между расчетными и за 2013 год.

За холодный период начиная с ноября и до конца февраля расчетная и измеренная температура воздуха отличается сильнее, чем за теплый. Максимальная разница в январе  $-12,1$  °C, с мая по сентябрь разница температур варьируется от 0 до  $2,1$  °C (Рис. 1). Максимальные значения разницы в зимний период объясняются активной инверсионной деятельностью в горной местности.

Такие отклонения могут быть обусловлены несоответствием периодов. С 70-х гг. XX века по настоящее время наблюдается повышение глобальной температуры воздуха [4]. И для расчета температурного поля за 2013 г. корректнее использовать современные данные. В связи с этим по методике В.В.Севастьянова были рассчитаны те же самые весовые коэффициенты за летние месяцы (табл. 2). Использованы данные о температуре воздуха с 2009 по 2015 год на разных высотах (730, 1500, 3000, 5500, 9000 м над ур. м.), по шести ближайшим аэрологическим станциям - Емельяново, Ангарск, Барнаул, Кызыл, Нижнеудинск, Хакасия [5].

**Таблица 2.** Весовые коэффициенты по данным 2009 – 2015 гг.

месяц	Коэффициенты	Высота (м)				
		730	1500	3000	5500	9000
июнь	$A_0$	16,6	11,1	0,7	-0,7	-42,46
	$A_1$	-0,07	0,1	0,0	0,0	-0,01
	$A_2$	-0,5	-0,6	-0,5	-0,3	0,33

июль	A <sub>0</sub>	18,5	12,9	2,2	-14,6	-41,19
	A <sub>1</sub>	-0,01	0,1	-0,1	0,3	0,15
	A <sub>2</sub>	-0,51	-0,6	0,4	-0,4	-0,21
август	A <sub>0</sub>	16,3	11,3	0,9	-15,2	-42,2
	A <sub>1</sub>	-0,1	0,05	0,1	0,7	0,05
	A <sub>2</sub>	-0,7	-0,8	-0,5	-0,3	-0,18

С помощью полученных коэффициентов была рассчитана температура воздуха над исследуемой территорией за теплый период. Так как результаты расчета отражали температурный режим свободной атмосферы без учета подстилающей поверхности, вводилась соответствующая поправка.

Среднемесячная температура на метеорологической станции Тунка (720 м над ур. м.) за 2009–2015 гг. сравнивалась с рассчитанной температурой за тот же промежуток времени и с рассчитанной температурой с учетом коэффициентов за 1961–1971 гг. (табл. 3). Результаты, полученные при использовании современных данных, дают меньшие отклонения от измеренных значений, погрешность рассчитанных данных с фактическими примерно полградуса.

**Таблица 3.** Среднемесячная температура воздуха на станции Тунка

	июнь	июль	август
Среднемесячная 2009-2015 гг.	15,1	17,2	14,9
Расчет с учетом коэффициентов в 2009–2015 гг.	15,8	17,6	14,5
Расчет с учетом коэффициентов в 1960–1970 гг.	13,5	16,8	14,1

Разницы между рассчитанными температурами за период (2009-2015 гг.) и измеренными за 2013 г. на склоне стали меньше, в среднем на 0,1 °С (табл. 4). Возможно, при использовании весовых коэффициентов за конкретный, например 2013, год отклонения расчетных температур будут еще меньше.

**Таблица 4.** Температура воздуха на южном макросклоне Тункинской котловины

Месяц \ Н, м	Расчетные (2009-15 гг.)				Измеренные (2013 г.)			
	730	1000	1500	2000	720	950	1420	1970
VI	15,8	14,7	12,7	9,0	14,5	13,7	11,7	7,3
VII	17,6	16,8	15,1	10,0	17,1	15,5	13,9	9,6
VIII	15,3	13,8	11,0	7,5	16,6	15,0	13,8	9,9

Полученная, при использовании данных 1961-1971 гг., температура в свободной атмосфере (выше 1500 м) мало отличается от современных значений, из этого следует, что с течением времени в верхних слоях атмосферы температурный режим мало изменился. Данная методика хорошо подходит для расчета среднемесячных температур воздуха, на точность полученных результатов огромное влияние оказывает количество аэрологических станций и частота их расположений, чем больше станций, тем достовернее будут значения температуры воздуха в точке, где нужно восстановить данные.

Работа проведена при финансовой поддержке ИОО РГО и ООО «Премьер-Энерго» (Договор № 16/03/02).

#### Литература:

1. Севастьянов В.В. Климат высокогорных районов Алтая и Саян. – Томск: изд-во Томского Университета, 1998. – 201 с.
2. Белоусов В.М., Будэ И.Ю., Радзиминович Я.Б. Физико-географическая характеристика и проблемы экологии юго-западной ветви Байкальской рифтовой зоны. – Иркутск, 2011. – 120 с.
3. Гигрохрон [Электронный ресурс] URL: <http://www.elin.ru> (дата обращения 15.04.2013)
4. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск: Изд-во ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». – 2012. – 194 с.
5. Данные аэрологического зондирования [Электронный ресурс] URL: <http://weather.uwyo.edu> (дата обращения 20.02.2016).