



# 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





# 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



Сравнительный анализ разновременных поляриметрических характеристик, таких как радарный вегетационный индекс, степень поляризации и др. а также декомпозиционных компонент разложения Клода-Поттье и Фримана выявил значительные сезонные вариации процессов рассеяния лесной среды и почвенного покрова. Установлено ослабление доминирующей роли объемного рассеяния в зимний период на радиолокационных изображениях, свидетельствующее о соответствующем изменении надземной биомассы.

Исследования выполнены при частичной поддержке РФФИ (грант 15-47-04386 p\_сибирь\_a).

#### Литература:

1. Manual of remote sensing. V. 2. Principles and applications of imaging radar. Editor-in-chief Ryerson R.A. – USA: John Wiley & Sons Inc. – 1998. – 865 p.
2. Захаров А.И., Чимитдоржиев Т.Н. Зондирование земных покровов радарными с синтезированной апертурой // Журнал радиоэлектроники. – 2010. – № 10. URL: <http://ire.cplire.ru/ire/oct10/4> (дата обращения: 29.10.2015).
3. Lee J.-S., Pottier E. Polarimetric radar imaging: from basics to applications. – Boca Raton: CRC Press. – 2009. – 422 p.
4. Дмитриев А.В., Чимитдоржиев Т.Н., Кирбижекова И.И., Дагуров П.Н., Базаров А.В., Гармаев А.М., Емельянов К.С., Гусев М.А. Технология создания и применения базовых продуктов спутниковой радиолокации // Вычислительные технологии. – 2014. – Т. 19. – № 3. – С. 5–13.
5. Родионова Н.В. Оценка параметров почвы по радарным данным с использованием эмпирической модели и декомпозиции по механизмам рассеяния // Исследование Земли из космоса. – 2009. – № 1. – С. 3–8.
6. Cloude S.R., Pottier E. An entropy-based classification scheme for land applications of polarimetric SAR // IEEE Trans GRS. – 1997. – V. 35 (1). – P. 68–78.
7. Кирбижекова И.И., Батуева Е.В. Сезонные изменения характеристик рассеяния природных и искусственных объектов на радарных изображениях // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2013. – Т. 56. – № 8/2. – С. 207–208.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE TWO METHODS FOR RESTORING THE SOIL TEMPERATURE PROFILE

<sup>1,2</sup>Kiselev M.V., <sup>2,3</sup>Voropay N.N., <sup>2</sup>Dyukarev E.A.

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

<sup>2</sup>Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia

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

E-mail: [xplutox@yandex.ru](mailto:xplutox@yandex.ru), [voropay\\_nn@mail.ru](mailto:voropay_nn@mail.ru)

Soil temperature is a key factor controlling many biotic and abiotic processes in soils. Soil temperature data are used in applications and research purposes. It is important to perform temperature monitoring of peat and mineral soil.

Sometimes the observations data are lost due to malfunction of the monitoring equipment. Development of the methods for missing data recovering is an important task. We used two methods for restoration of soil temperatures. First approach based on Newton's law of cooling (Dolschak et al., 2015) and the second ones uses multiply regression models (Eliseeva, 2005).

In this work we used two observation sites located in an oligotrophic bog at a distance at 1 km from each other with different vegetation cover, structure of peat deposits and water level. The correlation coefficients between peat temperature at two sites at the same depth is about 0.95-0.99. All calculations were made for average daily soil temperature for the period from 1 June to 15 September 2014.

In the first method we obtain good results on air temperature with mean absolute error 0.22°C. Soil temperature modeling errors are 0.46-1.08 °C in layer 0-80 cm and 0.02-0.21 °C in layer 120-240 cm. These results are not bad, but we have big amplitude of error variations in layer 0-80 cm (table 1). The reasons of these biases may be in different properties of soil and vegetation properties at sites. But in case when we have similar sites errors can be smaller.

The second method was suggested by Dolschak et al. (2015) and modified here. The formulation is based on Newton's law of cooling, which is applied two times consecutively. Soil temperature at a certain depth  $z$  as calculated using a temperature at depth  $z-1$  and specially defined effective temperature of the environment.

In result we have small mean absolute errors from 0.19 °C at 80 cm to 0.76 °C on the surface, and from 0.09 °C at 240 cm to 0.29 °C at 120 cm. In this method amplitude of error variations in layer 0-80 cm is lower than in the

regression method. The feature of this method is that at depths 120-240 data recovery depth of  $z-1$  is not suitable and we must find a new predictor.

Both studied models give us reliable results. But model 2 give us better result for layer 0-80 with average error 0.4 °C and better fit the amplitude of daily soil temperature. In other side for layer 120-240 model 1 better reproduces the observation data. Obtained results it allows us to talk about the possibility of data recovery with reasonable accuracy using combinations of both methods.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДВУХ МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ

<sup>1,2</sup>Киселев М.В., <sup>2,3</sup>Воропай Н.Н., <sup>2</sup>Дюкарев Е.А.

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

<sup>2</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

<sup>3</sup>Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия

E-mail: xplutox@yandex.ru, voropay\_nn@mail.ru

Температура почвы воздействует на рост наземной растительности (мхи, кустарники и др.) и формирование микроклимата, является ключевым фактором, контролирующим многие биотические и абиотические процессы, протекающие в почвах (торфяных, минеральных): разложение и минерализацию органического вещества почв, эмиссию парниковых газов (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O), выделение растворенного органического углерода (Головацкая и др., 2008).

Данные по температуре почвы используются как для прикладных целей, так и для научных. Изучение температурного режима минеральных и торфяных почв на фоне современного глобального потепления наблюдающегося на всей территории России с 1976 по 2012 год является актуальной задачей (Второй оценочный доклад Росгидромета..., 2014).

Во время мониторинга могут возникнуть проблемы с получением данных. В результате сбоев в работе оборудования происходит потеря информации за некоторый промежуток времени. Так как исключить технические проблемы полностью на данный момент невозможно, то поиск методов восстановления утраченных данных является важной задачей.

В работе нами были рассмотрены два метода восстановления рядов температуры почвы и воздуха: с использованием закона охлаждения Ньютона (Dolschak et al., 2015), и регрессионных соотношений (Елисеева, 2005).

Использовались данные по двум наблюдательным площадкам, расположенным в пределах одного исследуемого участка на стационаре «Васюганье» ИМКЭС СО РАН. Площадки находятся на расстоянии около 1 км, имеют разный растительный покров и строение торфяной залежи, обводненность (открытая топь, высокий рям). Данные о температуре почвы получены с помощью автономного измерителя профиля температур (Кураков и др., 2008). Измерения проводились с шагом 15 минут с 11 сентября 2011 г. по 16 сентября 2015 г. Высокие коэффициенты корреляции (0,9-0,95) наблюдаются между рядами температур почвы на одинаковых глубинах на наблюдательных площадках.

Восстановление данных по регрессионному методу делилось на два этапа: восстановление средней суточной температуры воздуха на высоте 2 м по линейной регрессии и восстановление средней суточной температуры торфяной почвы от подстилающей поверхности до глубины 240 см по множественной регрессии. Все расчеты производились для тестового периода с 1 июня по 15 сентября 2014 г.

Восстановление температуры воздуха по линейной регрессии дало хорошие результаты, со средней ошибкой 0,22 °C. Полученный результат в полной мере отображает малую изменчивость температуры воздуха между площадками, так как их удаленность друг от друга невелика.

Для дальнейших расчетов использовалась множественная регрессия:

$$Y = A + B_1 * X_1 + B_2 * X_2,$$

где  $A$  и  $B_1$ ,  $B_2$  – коэффициенты уравнения регрессии,  $Y$  – температура почвы на искомой глубине;  $X_1$  – температура почвы на вышележащей глубине;  $X_2$  – температура почвы на искомой глубине на соседней площадке.

В результате восстановления данных были получены относительно невысокие ошибки: 0,46-1,08 °C в слое 0-80 см и 0,02-0,21 °C в слое 120-240 см (таблица).

**Таблица.** Модельные коэффициенты и средние ошибки

Глубина, см	Регрессионная модель						Модель Ньютона				
	A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	Med	Min	Max	λ	T <sub>c</sub>	Med	Min	Max
Воздух	0,05	1,01		0,22	-0,9	0,9	30,62	0,22	0,26	-1,2	1,1
0	5,98	0,53	0,09	1,04	-2,9	2,7	1,11	0,11	0,76	-2,0	2,7
2	-4,09	1,42	-0,19	1,00	-3,6	2,4	1,33	-0,15	0,52	-1,5	2,6
5	0,29	0,95	0,03	1,00	-3,5	2,5	1,68	-0,15	0,20	-0,4	0,7
10	1,26	0,85	0,06	1,01	-3,2	2,5	1,02	-0,28	0,54	-1,2	1,3
15	1,50	0,84	0,07	1,06	-2,8	2,6	0,56	-0,13	0,58	-1,5	1,4
20	1,23	0,82	0,10	1,08	-3,1	2,5	0,42	-0,17	0,46	-0,9	1,2
30	0,96	0,74	0,22	1,04	-2,9	2,5	0,23	-0,12	0,42	-1,0	1,1
40	0,60	0,75	0,23	0,93	-2,4	2,3	0,24	-0,11	0,25	-0,5	0,6
60	0,49	0,50	0,50	0,61	-1,4	1,5	0,10	-0,11	0,36	-0,8	0,8
80	-0,30	0,59	0,59	0,46	-1,2	1,0	0,07	-0,07	0,19	-0,5	0,5
120	0,17	0,31	0,89	0,21	-0,4	0,4	0,06	-0,08	0,29	-0,7	0,4
160	0,64	0,17	0,96	0,08	-0,2	0,2	0,02	0,00	0,10	-0,2	0,3
240	1,83	-0,19	1,08	0,02	-0,04	0,05	0,01	0,00	0,09	-0,1	0,2

Примечание: A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> – коэффициенты регрессии, λ – коэффициент теплообмена, T<sub>c</sub> – поправка к температуре среды, Med – средний модуль ошибки, Min, Max – наибольшие разности между модельными данными и наблюдениями.

Такое распределение ошибок по глубинам (максимальные в слое 0-80 см) может возникать из-за различия свойств торфяной залежи, растительного покрова на наблюдательных площадках.

Представленная простейшая модель может применяться для восстановления температуры даже в случае использования данных различных между собой площадок, однако при наличии информации с однотипных площадок, ошибки могут достигать меньших значений, как на поверхности, так и на глубинах.

Вторая модель предложена в работе (Dolschak et al., 2015) и связывает среднесуточную температуру почвы со среднесуточной температурой воздуха. Ее формулировка основана на двукратном последовательном применении закона охлаждения Ньютона. В модифицированном нами варианте модели сначала определяем фиктивную температуру промежуточной среды через известные значения температуры воздуха:

$$T_{e,t} = T_{a,t} + (T_{e,t-1} - T_{a,t}) \exp(-\lambda) + T_c,$$

где λ - коэффициент теплоотдачи, T<sub>c</sub> – поправка, вводимая для температуры среды, и призванная учесть изменение температуры вследствие фазовых переходов, латеральных потоков тепла и пр.

Температура почвы в слое, находящемся ниже промежуточной среды, так же определяется по закону теплообмена Ньютона с аналогичным коэффициентом теплоотдачи.

$$T_{s,t} = T_{e,t} + (T_{s,t-1} - T_{e,t}) \exp(-\lambda)$$

Модификация метода расчета температуры почвы, предлагаемая нами, заключается в том, что для нахождения температуры почвы на глубине z в качестве предиктора используется температура почвы на глубине z-1. Так, для расчета температуры почвы на глубине 2 см используется ранее найденная температура поверхности, а для определения температуры на глубине 5 см – используются результаты расчета для 2 см.

Результатами модели стали достаточно хорошо восстановленные данные наблюдений с разбросом ошибок от 0,19 °C на 80 см до 0,76 °C на поверхности почвы, и от 0,09 °C на 240 см до 0,29 °C на 120 см. Температура почвы на глубинах 120-240 см воспроизводится хуже, чем по регрессионной модели. Возможно, это связано с тем, что с глубиной возрастает толщина слоя, через который оценивается поток тепла, и оценка потока через него методом теплообмена получается некорректной.

На основе полученных данных можно сделать вывод, что в слое 0-80 см модель, основанная на законе охлаждения Ньютона дает среднюю погрешность расчета среднесуточных температур почвы 0,4 °C, а регрессионная модель 0,8°C. Также разброс максимальных ошибок в модели 2 меньше (см табл. 1), чем в модели 1. Причина, по которой модель 2 дает лучше результаты, может состоять в том, что при расчете не используются данные с соседней точки (высокий ям) для прогнозирования температуры почвы на открытой топи. Различия между площадками могут являться причиной появления дополнительных неучтенных ошибок в нашей регрессионной модели.

Однако регрессионная модель на глубинах более 120 см дает достаточно точные результаты, которые позволяют говорить о возможности ее использования при восстановлении данных и прогнозировании температуры почвы.

#### Литература:

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации // Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Москва, 2014. – 61 с.
2. Головацкая Е.А., Дюкарев Е.А., Ипполитов И.И., Кабанов М.В. Влияние ландшафтных и гидрометеорологических условий на эмиссию CO<sub>2</sub> в торфоболотных экосистемах // Докл. РАН. – 2008. – Т. 418. – № 4. – С. 539–542.
3. Елсеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики. М.: Изд-во финансы и статистика, 2005. – 657 с.
4. Кураков С.А., Крутиков В.А., Ушаков В.Г. Автономный измеритель профиля температуры АИПТ // Приборы и техника эксперимента. 2008. - № 5. - с. 166- 167.
5. Dolschak K., Gartner K., Berger T.W. A new approach to predict soil temperature under vegetated surfaces // Model. Earth Syst. Environ. 2015. 1-32.

## METHODOLOGY AND ALGORITHMS STATISTICAL PROCESSING OF INSTANT METEOROLOGICAL VARIABLES VALUES FROM ULTRASONIC MEASUREMENTS

<sup>1</sup>Rohmistrov D.S., <sup>2</sup>Bogushevich A.Ya., <sup>1</sup>Botygin I.A.

<sup>1</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

<sup>2</sup>Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia

E-mail: obozhe12@gmail.com, bay@imces.ru, bia@tpu.ru

The idea of using ultrasonic methods for estimation of atmospheric meteorological parameters appeared in the late 40-ies of the last century, due to the fact that used standard meteorological instruments have significant inertia and radiation errors. Ultrasonic methods are more free from these disadvantages, which is especially important for the evaluation of different statistical (turbulent) characteristics of meteorological fields in the atmosphere, describes their small-scale (high frequency) spectral structure.

Calculation of instant values of meteorological parameters are carried out, usually, at the stage of preliminary processing of raw measurement data of the ultrasonic anemometer in the local computer directly connected to this device. Pre-processing includes: reading in a computer primary data flow of measurements from the device; testing and diagnostics the quality of primary data device to the presence of malfunction during transmission; calculating in real time the instant values of temperature, speed of horizontal wind, direction of horizontal wind, speed of vertical wind, relative humidity, atmospheric pressure; automatic saving of calculation results of meteorological elements on the computer's hard disk as files of various types with the timing of their registration installed before starting the measurements.

These files are stored in the information-computing platform in a special archive, are allow to calculate for any past period both average values of meteorological quantities and parameters and statistical functions for atmospheric fields of temperature and wind, traditionally used for analyzing the thermodynamic state of the surface atmospheric layer and numerical estimates of generally accepted characteristics of atmospheric turbulence.

At the first stage of mathematical processing using the formula (1) calculates the variance for temperature and wind components.

$$D_i = \frac{1}{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} (\xi_{i,k} - \langle \xi_i \rangle)^2 \quad (1)$$

At the next stage, using the average values of the orthogonal components of wind speed  $\langle v_s \rangle$ ,  $\langle v_e \rangle$  и  $\langle w \rangle$ , calculates:

Absolute value of the average vector wind speed by the formula (2);

$$\langle V \rangle = \sqrt{\langle v_s \rangle^2 + \langle v_e \rangle^2 + \langle w \rangle^2} \quad (2)$$

the angle of inclination to the horizon of the average wind velocity vector by the formula (3);

$$\psi = \arccos \left( \frac{\langle v_h \rangle}{\langle V \rangle} \right) \quad (3)$$

the direction of the average horizontal wind speed  $\langle D \rangle$  by the formula (4),