

INSTITUTE OF ZOOLOGY UZBEK ACADEMY OF SCIENCES
ИНСТИТУТ ЗООЛОГИИ АН РУЗ

UGAM-CHATKAL NATIONAL PARK & CHATKAL STATE BIOSPHERE NATURE
RESERVE
УГАМ-ЧАТКАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК
И ЧАТКАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ БИОСФЕРНЫЙ ЗАПОВЕДНИК

THE MARMOTS OF EURASIA: ORIGIN AND CURRENT STATUS



СУРКИ ЕВРАЗИИ: ПРОИСХОЖДЕНИЕ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

INTERNATIONAL MARMOT NETWORK
МЕЖДУНАРОДНАЯ СЕТЬ ПО ИЗУЧЕНИЮ СУРКОВ

TASHKENT, 2007
ТАШКЕНТ, 2007

The Marmots of Eurasia: Origin and Current Status. Proceedings of the Fifth International Conference on Genus *Marmota*. Tashkent, 2007. 132 pp.

The proceedings include full reports made at the Fifth International Conference on Genus *Marmota*. The presented works are devoted to studies in the sphere of ecology, systematics, phylogenesis, ethology, evolution, morphology, as well as re-introduction and methods of counts of marmots. Besides, marmots are used as the example when considering the questions of ecological education, creation and keeping the bibliography and some aspects of the history of zoology.

This edition is addressed to a wider circle of specialists – zoologists, ecologists, employees of environmental organizations, students etc.

Editorial board:

Esipov A.V.

Bykova E.A.

Brandler O.V.

Ramousse R.

Vashetko E.V.

Reviewers:

Nikol'skii A.A.

Armitage K.B.

Translator:

Khojaev J. (excluding papers sent in both Russian and English)

Сурки Евразии: происхождение и современное состояние. Доклады 5-ой Международной конференции по суркам. Ташкент, 2007. 132 с.

В сборник вошли полные тексты докладов, сделанных на 5 Международной конференции по суркам (2005). Представленные работы посвящены исследованиям в области экологии, систематики, филогенезу, этологии, эволюции, морфологии, а также реакклиматизации и методам учета сурков. Кроме того, на примере сурков рассматриваются вопросы экообразования, создания и ведения библиографии и некоторые аспекты истории зоологии.

Это издание рассчитано на широкий круг специалистов - зоологов и экологов, сотрудников природоохранных организаций, студентов и др.

Редакционная коллегия:

Есипов А.В.

Быкова Е.А.

Брандлер О.В.

Рамюс Р.

Вашетко Э.В.

Рецензенты:

Никольский А.А.

Армитейдж К.Б.

Перевод:

Ходжаев Ж. (за исключением статей, присланных на двух языках)

© Угам-Чаткальский государственный природный национальный парк и
Чаткальский государственный биосферный заповедник

© Международная сеть по изучению сурков

ANNUAL DYNAMICS OF TEMPERATURES IN BURROWS OF MARMOTA BOBAK: A MATHEMATICAL MODELLING

ГОДОВАЯ ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРЫ В НОРАХ СТЕПНОГО СУРКА (MARMOTA BOBAK): МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Belovezhets K.I.¹, Nikol'skii A.A.^{1,*}, Ronkin V.I.²

¹The Russian Peoples' Friendship University, 113093 Moscow, Podolskoe ave., 8/5, Russia;

²Kharkov National University, Kharkov, Ukraine; * Correspondence author: (e-mail: kottus@mail.ru)

Abstract. Thermal conditions of mammals' burrows are controlled by temperature of surrounding soil layers. It makes possible to calculate burrow temperature at any moment by modeling soil temperature without direct measurements in burrow. In this paper a model based on a well-known heat-transfer equation is analyzed. For the solution, boundary conditions and temperature conductivity coefficient should be determined. Boundary conditions are: temperature distribution in the start time, temperature on the soil surface and temperature of underlying thermoneutral layer. As annual temperature change are cyclic, start time temperature distribution can be random. This model showed good correspondence with real temperature measured in a burrow of *Marmota bobak* in Ukraine. Steppe marmot's burrow temperature was calculated for four geographic populations situated in Ukraine, Volga region, Southern Ural, Central Kazakhstan and for the depth from 1.5 m to 4.5 m. This depth range is usually considered as common for steppe marmot's hibernacula. Difference of burrow thermal conditions for different depths and geographic populations is discussed.

Резюме. Температурный режим нор млекопитающих находится под контролем окружающих слоев грунта. Это дает возможность оценить температуру в норе в любой момент времени путем моделирования температуры грунта, не прибегая к ее прямым измерениям. В работе анализируется модель, основанная на широко известном уравнении теплопроводности. Для решения уравнения необходимо задать начальные и граничные условия, а также коэффициент температуропроводности почвы. Начальным условием является распределение температуры в начальный момент времени. При циклическом изменении температуры в течение года начальные условия можно задать произвольно. Верхним граничным условием является температура поверхности грунта, а нижним – температура термонеutralного слоя. Хорошее соответствие модели реальному объекту было показано на примере норы степного сурка (*Marmota bobak*) в Украине. Была рассчитана температура в норах степного сурка для четырех географических популяций: Украина, Поволжье, Южный Урал, Центральный Казахстан для диапазона глубин расположения гнездовых камер, обычно обсуждаемого в литературе (от 1,5 до 4,5 м.). Обсуждается различие в температурных условиях нор, расположенных на различной глубине и в различных географических популяциях.

Key words: temperature, burrow, *Marmota bobak*, mathematical modeling, thermal conditions, geographical population, hibernation, hibernacula.

Ключевые слова: температура, нора, степной сурок, математическое моделирование, температурный режим, географические популяции, спячка.

A suggestion made previously (Nicol'skii, Khutorskoy, 2001) stated that the temperature regime in the burrows of mammals was affected by the surrounding soil layers. Almost no convection was recorded in the burrows; therefore, the temperature in them was predetermined by the heat exchange with the enclosing layers of the soil, which enabled the use of a relatively simple mathematical model for the identification of the temperature regime in burrows (Nicol'skii, 2003).

A well-known differential equation of the thermal conductivity used in geology and soil science forms the basis of the suggested model (Kachinskii, 1965):

$$\frac{\partial U(z,t)}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 U(z,t)}{\partial z^2} (1),$$

where $U(z,t)$ – temperature, °C, as a function depending on z – depth, m and t – time, c; a – the coefficient of thermal diffusivity, m^2/c .

To solve the equation, it is necessary to identify the coefficient a and specify the initial and boundary conditions.

Thermal conductivity of the soil depends on its composition, levels of humidity and other factors. In some cases, it is reasonable to use average values of the coefficient of thermal conductivity for a certain soil type. This averaging does not significantly affect the preciseness of the calculation. In most part of the range, marmots, *M. bobak*, inhabit the chernozemic zone, while the Kazakhstan population, the zone of dark-chestnut soils (Afanas'eva *et al*, 1979). The average coefficients of thermal conductivity for them are respectively equal to: $a_{ch}=3.4 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{c}$ and $a_{dk}=2.5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{c}$ («Basis of agrophysics», 1959; Dimo, 1972).

The primary condition for the equation (1) is the distribution of temperature in the soil at the zero moment of time $t=0$, $U(z,0)$. At a cyclic change in temperatures on the soil surface all of its layers are at the state of the dynamic balance with the surface temperature this state is achieved during several cycles of temperature fluctuations and does not depend on the initial distribution of temperature. Therefore, it is possible to set the initial conditions ad lib, while studying the annual temperature dynamics and use the data only after the establishment of the cyclic balance, i.e. when the temperature at each point in one month is repeated from year to year.

Boundary conditions are the dynamics of temperatures on the border of the studied soil layer, $U(0,t)$ and $U(Z,t)$, where Z is the depth of the studied layer. In our case, the upper border is the temperature on the soil surface, and the lower border is the temperature of the so-called thermo-neutral layer. The thermo-neutral layer is a layer in which temperature changes are unavailable. Data on average monthly temperatures of the soil surface were taken from the USSR Climate Guide (1965, 1966, 1967); temperatures of the thermo-neutral layer, from the USSR Hydrothermal map (1978).

It is possible to solve the equation in various ways. In this work, the algorithm of the solution of finite elements was used. The method consists in that the soil is expressed as discrete layers, while time, as discrete steps. Each soil layer is characterized with a single thermal diffusivity. In this case, the differential equation (1) is transformed into the discrete one (Hanks, Ashcroft, 1985):

$$\frac{U_j^{i+1} - U_j^i}{\Delta t} = \frac{a(U_{j-1}^i - 2U_j^i + U_{j+1}^i)}{\Delta z^2} \quad (2),$$

where i is the number of time step, j is the number of soil layer. At the zero step, the initial distribution of temperature in layers is set. Accept that:

$$U_j^i = \frac{U_{j+1}^{i-1} + U_{j-1}^{i-1}}{2} \quad (3),$$

i.e. the temperature in each layer at every consecutive step is equal to the averaged temperature of the neighboring layers in the previous step (i.e., the layers reach the state of the thermal balance). Replacing (2) with (3) we receive:

$$a \frac{\Delta t}{\Delta z^2} = 0.5 \quad (4),$$

It is therefore seen that the minimal time step of the model is determined by the selected thickness of the discrete layer and the coefficient of thermal diffusivity. With the decrease of the layer thickness and respectively the time-step, the model tends to the continuous course of temperature. The preciseness of the model, therefore, depends on the magnitude of discrete steps by time and depth.

This model reflects the major traits of the temperature regime in the soils: attenuation of temperature fluctuations at the depth, different depths of the penetration of temperature fluctuations depending on the frequency of cyclic changes (daily or annual), a delay in the course of temperature with the growing depth. The program complex Termgraf developed at the Geological Institute of Russian Academy of Sciences (Khutorskoy, 1996) was used in this work for the calculations. This program applies the above-mentioned algorithm for the two-dimensional case.

To test of the model, the temperatures measured in the burrow of *M. bobak*, in the soil, at the depth of the nest chamber, as well as findings obtained on the basis of calculations were compared. The studies were carried out in Velikoburluksky district of Kharkov province (the Ukraine). The findings were published (Nikolskii et al., 2005) and the major results are given in figure 1. As indicated in Fig. 1, the model data fairly well corresponded to real temperature values both inside the burrow (1, a) and in the soil (1, b). The temperature calculated by means of this model is different from the temperature measured inside the burrow by 0.9°C on average, and by 0.8°C from the temperature in the soil. The highest differences between the calculated and recorded values reached 2.6°C in June.

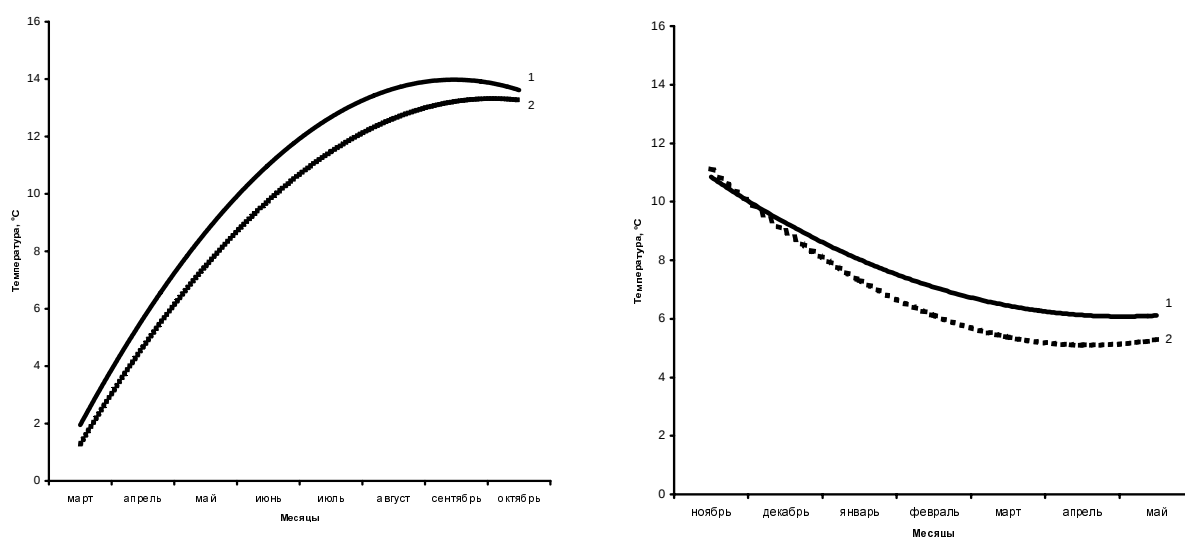


Figure 1. The course of temperature: *a*) in the burrow of a *M. bobak* at the depth of 1,9 m (March to October); *b*) in the soil at the depth of 3 m (November to May) in Velikoburluksky district of Kharkov province in the Ukraine.

1 – data of field surveys;
2 – results of modeling.

Рисунок 1. Ход температуры: *a*) в норе степного сурка, расположенной на глубине 1,9 м (с марта по октябрь); *б*) в грунте на глубине 3 м (с ноября по май) в Великобурлукском районе Харьковской области Украины.

1 – данные полевых наблюдений;
2 – результаты моделирования.

This work shows that this method enables a description of the dynamics of temperatures in burrows over a significant part of *M. bobak* range with a sufficient precision without carrying out field work.

Based on the model, an annual dynamics of temperatures in the burrows of four populations of степной marmot was calculated for the following regions: Kharkov province of the Ukraine; Saratov and Orenburg provinces of Russia and central Kazakhstan. Data were obtained for the

temperature regime in soils as deep as 1.5 m to 4.5 m, since the nest chambers of *M. bobak* are situated largely at this depth (Bibikov, 1980; Zimina, Poleyaya, 1980; Lobanov, 1983; Tokarskii, 1997).

Figure 2 shows the course of temperature at depths 0; 1.5 m and 4.5 m for the population inhabiting Kharkov province of the Ukraine. As evident from this figure, the range of fluctuations in temperature decreases as the depth growth, while the annual maximum and minimum are delayed if compared with the surface temperatures. Hence, the annual fluctuations in temperature reach 33°C; at the depth of 1.5 m, 15°C; and at the depth of 4.5 m, 3°C. The annual maximum of 25°C on the surface is recorded in July; at the depth of 1.5 m, in August (16°C, a one-month delay); at the depth of 4 m, in November (10°C; a four-month delay). A similar picture is recorded in respect to the annual minimum.

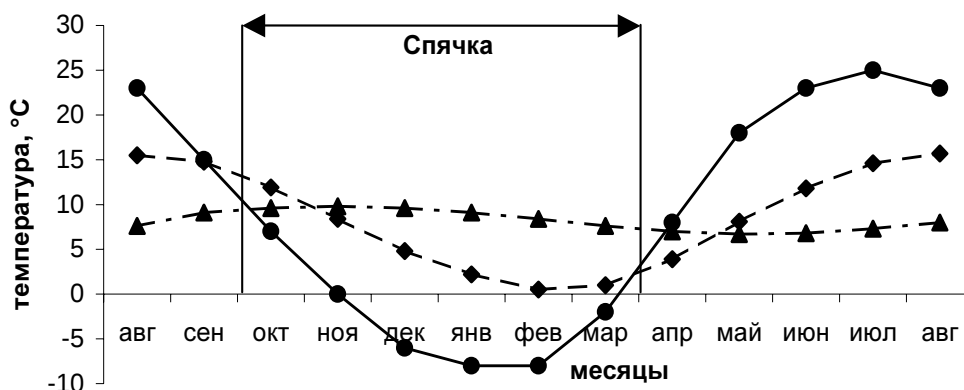


Figure 2. The course of temperature on the soil surface (a), at the depth of 1.5 m (b) and 4.5 m (c) in Kharkov province of the Ukraine. Data of weather station Prikolotnoe are used

Рисунок 2. Ход температуры на поверхности почвы (а), на глубине 1,5 м (б) и 4,5 м (в) в Харьковской области, Украина. Использованы данные метеостанции Приколотное

We observed a similar pattern in all other populations. In Central Kazakhstan, the delay of the annual peaks of maximal and minimal temperatures is approximately half a month longer due to different thermal-physical traits of dark-chestnut soils characteristic of this region. The results of calculations of the course of temperatures for the three habitats of *M. bobak* are given in figs. 3, 4 and 5. Data on the beginning and end of the hibernation for these regions are cited in literature (Bibikov, 1980; Shubin, 1991; Tokarskii, 1997; Soroka, 2001).

In the regions under survey, temperature regimes in the upper and lower boundaries of the distribution of nest chambers significantly differ. In the upper border, at the depth of 1.5 m, negative temperatures are recorded in the habitats of all populations except the Ukraine with its relatively soft climate. In the Volga region, negative temperatures at this depth are recorded for two months (February-March); in southern Urals, for three months (January to March); in central Kazakhstan, for four months (January to April). The depth of penetration of negative temperatures into the soil reaches 1.2 m in the Ukraine; 1.7 m in the Volga region; 2.2 m in southern Urals and central Kazakhstan. The course of temperature is asymmetric relatively the maximums and minimums: they occur closer to the end of the warming and cooling of the soils, respectively. Thus, animals living in burrows situated in shallow depths encounter a relatively wide range of fluctuations in temperature during the year, the lowest temperatures taking place shortly before the end of hibernation, while the highest at the beginning of hibernation or shortly before it. For the western populations (the Ukraine and the Volga region), the temperature regime at a low depth is more even than for the eastern populations.

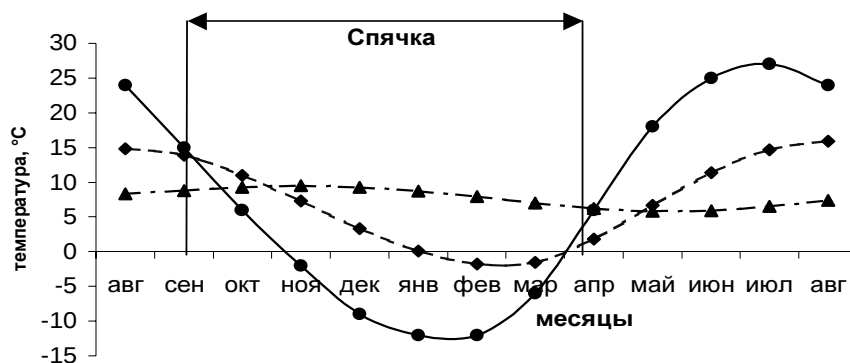


Figure 3. The course of temperature on the soil surface (a), at the depth of 1.5 m (b) and 4.5 m (c) in Saratov province of Russian Federation. Data of weather station Saratov (the experimental field) are used.

Рисунок 3. Ход температуры на поверхности почвы (a), на глубине 1,5 м (б) и 4,5 м (в) в Саратовской области, РФ. Использованы данные метеостанции Саратов, опытное поле.

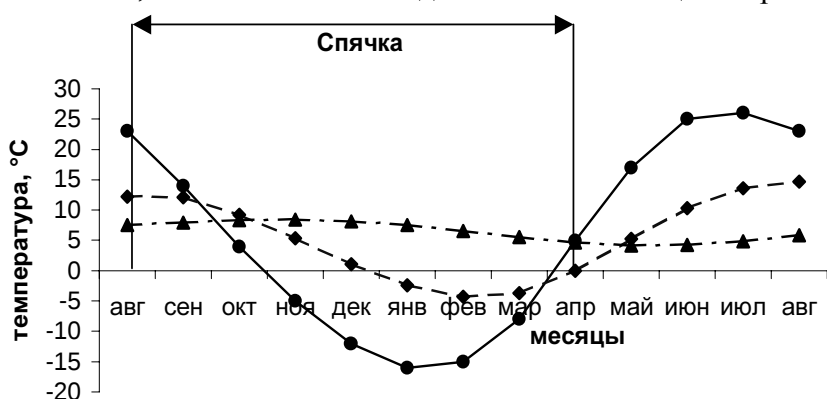


Figure 4. The course of temperature on the soil surface (a), at the depth of 1.5 m (b) and 4.5 m (c) in Orenburg province of Russian Federation. Data of weather station Belyaevka are used.

Рисунок 4. Ход температуры на поверхности почвы (a), на глубине 1,5 м (б) и 4,5 м (в) в Оренбургской области, РФ. Использованы данные метеостанции Беляевка.

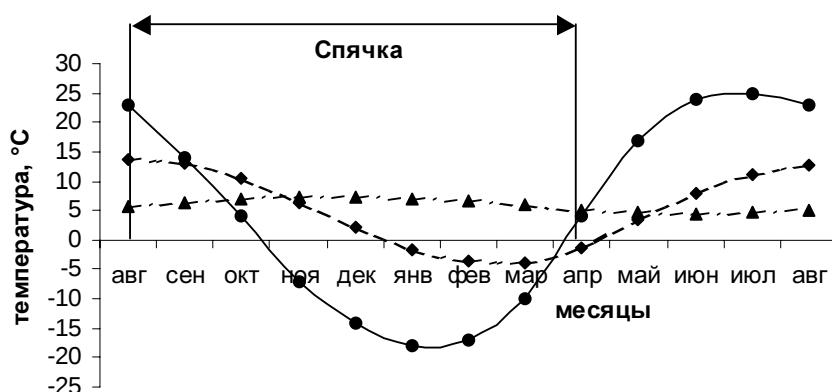


Figure 5. The course of temperature on the soil surface (a), at the depth of 1.5 m (b) and 4.5 m (c) in central Kazakhstan. Data of weather station Kayraky are used.

Рисунок 5. Ход температуры на поверхности почвы (a), на глубине 1,5 м (б) и 4,5 м (в) в Центральном Казахстане. Использованы данные метеостанции Кайракты.

At a lower boundary of the burrows (4.5 m), the temperature to a significantly lower extent is subject to annual fluctuations; during the whole year, a relatively stable low and positive temperature remains, its annual range being only several degrees centigrade. The temperature regime at this depth is mainly determined by an average annual temperature of the surface and that of the thermo-neutral layer, the changes in which taking place much slower. If the nest chambers are situated deeper, the difference between geographic populations is low: the temperature in burrows of the farthest populations (the Ukraine and central Kazakhstan) differs on average by 3°C.

Thus, while constructing their burrows, marmots face a choice as to whether to make a deep burrow with a relatively constant temperature regime by spending more energy and time on it or to make a shallower burrow but subsequently enduring significant changes in temperatures during the year and in some cases negative temperatures during a more or less longer period. This problem is more acute for populations inhabiting areas with a more continental climate.

Ранее (Nikol'skii, Khutorskoy, 2001) было высказано предположение, что температурный режим нор млекопитающих находится под контролем окружающих ее слоев грунта. Показано, что конвекция в норах почти отсутствует, и, следовательно, температура норы определяется теплообменом с вмещающими слоями грунта. Это делает возможным использование относительно несложной математической модели для определения температурного режима нор (Nikol'skii, 2003).

В основе предлагаемой модели лежит широко известное дифференциальное уравнение теплопроводности, применяемое в геологии, почвоведении и грунтоведении (Kachinskii, 1965):

$$\frac{\partial U(z,t)}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 U(z,t)}{\partial z^2} (1),$$

где $U(z,t)$ – температура, °C, как функция, зависящая от z – глубины, м и t – времени, с; a – коэффициент температуропроводности, м²/с.

Для решения уравнения необходимо определить коэффициент a , а так же задать начальные и граничные условия.

Температуропроводность почвы зависит от ее состава, степени увлажнения и других факторов. В ряде случаев целесообразно использовать усредненные величины коэффициента температуропроводности для определенного типа почвы. Подобное усреднение влияет на точность расчета не значительно. В большей части ареала степной сурок обитает в зоне черноземов, а казахстанская популяция – в зоне темно-каштановых почв (напр., Afanas'eva *et al*, 1979). Усредненные коэффициенты температуропроводности для них равны соответственно:

$a_{ch}=3.4 \cdot 10^{-7}$ м²/с и $a_{dk}=2.5 \cdot 10^{-7}$ м²/с («Basis of agrophysics», 1959; Dimo, 1972).

Начальным условием уравнения (1) является распределение температуры в грунте в нулевой момент времени $t=0$, $U(z,0)$. При циклическом изменении температуры на поверхности грунта все его слои находятся в состоянии динамического равновесия с температурой поверхности. Это состояние достигается в течение нескольких циклов температурных колебаний и не зависит от начального распределения температуры. Таким образом, при исследовании годовой динамики температуры задавать начальные условия можно произвольно, и использовать данные только после установления циклического равновесия, то есть когда температура в каждой точке в один и тот же месяц повторяется из года в год.

Граничными условиями является динамика температуры на границах исследуемого слоя грунта, $U(0,t)$ и $U(Z,t)$, где Z – глубина исследуемого слоя. В нашем случае, за

верхнюю границу мы принимаем температуру поверхности почвы, а за нижнюю – температуру, так называемого, термонеutralного слоя. Термонеutralным называют слой грунта, в котором годовые изменения температуры отсутствуют. Данные по среднемесячной температуре поверхности почвы мы брали из «Справочника по климату СССР» (USSR climate guide 1965, 1966, 1967), а температуру термонеutralного слоя – из картографических данных (USSR Hydrothermal map, 1978).

Решение уравнения возможно разными методами. В данной работе использовался алгоритм решения методом конечных элементов. Суть метода заключается в том, что почва представляется в виде дискретных слоев, а время – в виде дискретных шагов. Каждый слой почвы характеризуется единой температуропроводностью и температурой. В таком случае дифференциальное уравнение (1) преобразуется в дискретное (Hanks, Ashcroft, 1985):

$$\frac{U_j^{i+1} - U_j^i}{\Delta t} = \frac{a(U_{j-1}^i - 2U_j^i + U_{j+1}^i)}{\Delta z^2} \quad (2),$$

где i - номер шага по времени, j -номер слоя почвы.

На нулевом шаге задается начальное распределение температуры слоев. Принимаем, что:

$$U_j^i = \frac{U_{j+1}^{i-1} + U_{j-1}^{i-1}}{2} \quad (3),$$

то есть температура каждого слоя в каждом последующем шаге равна усредненной температуре соседних слоев в предыдущем шаге (то есть, слои достигают состояния температурного равновесия). Подставив (3) в (2), получаем:

$$a \frac{\Delta t}{\Delta z^2} = 0.5 \quad (4),$$

откуда видно, что минимальный временной шаг модели определяется выбранной толщиной дискретного слоя и коэффициентом температуропроводности.

При уменьшении толщины слоев и, соответственно, временного шага, модель стремится к непрерывному ходу температуры. Точность модели, таким образом, зависит от величины дискретных шагов по времени и глубине.

Данная модель отражает основные свойства температурного режима грунтов: затухание колебаний температуры с глубиной, различная глубина проникновения колебаний температуры в зависимости от частоты циклических изменений (суточные или годовые), запаздывание в ходе температуры с увеличением глубины. В данной работе для непосредственного расчета использовался программный комплекс «Termgraf», разработанный в Геологическом Институте РАН (Khutorskoy, 1996). Программа реализует вышеприведенный алгоритм для двумерного случая.

Для проверки модели сравнивали температуру, измеренную непосредственно в норе степного сурка, в грунте, на глубине расположения гнездовой камеры, и данные, полученные на основании расчета. Исследования проводились в Великобурлукском районе Харьковской области Украины. Данные опубликованы (Nikolskii *et al.*, 2005), основные результаты представлены на рисунке 1. Как видно из рисунка, модельные данные удовлетворительно соответствуют реальным значениям температуры как непосредственно в норе (1, а), так и в грунте (1, б). Температура, рассчитанная при помощи модели, отличается от температуры, измеренной непосредственно в норе, в среднем на 0,9°C, а от температуры в грунте на 0,8°C. Максимальные отличия между расчетными и наблюдавшимися значениями составили 2,6°C в июне.

Эта работа показала, что данный метод, не требуя полевых исследований, позволяет с достаточной точностью описать динамику температуры в норах на значительной части ареала степного сурка.

На основе модели была рассчитана годовая динамика температуры в норах четырех популяций степного сурка: Украина, Харьковская область; Россия, Саратовская и Оренбургская области; Центральный Казахстан. Были получены данные по температурному режиму почв на глубине от 1,5 до 4,5 м, так как на этой глубине, чаще всего, располагаются гнездовые камеры нор степного сурка (Bibikov, 1980; Zimina, Polevaya, 1980; Lobanov, 1983; Tokarskii, 1997).

На рисунке 2 показан ход температуры на глубинах 0; 1,5 м и 4,5 м для популяции, обитающей в Харьковской области Украины. Из рисунка видно, что с глубиной амплитуда колебаний температуры уменьшается, а годовой максимум и минимум – запаздывают по сравнению с поверхностью. Так, годовая амплитуда колебаний на поверхности составляет 33°C, на глубине 1,5 м – 15°C, а на глубине 4,5 м – 3°C. Годовой максимум наступает на поверхности в июле (25°C), на глубине 1,5 м – в августе (16°C, запаздывание на 1 месяц), а на глубине 4 м – в ноябре (10°C, запаздывание на 4 месяца). Подобная же картина наблюдается и в отношении годового минимума.

Во всех остальных популяциях мы наблюдали аналогичную картину. В Центральном Казахстане запаздывание годовых максимумов и минимумов температуры больше примерно на полмесяца, что связано с отличающимися теплофизическими свойствами характерных для этого региона темно-каштановых почв. Результаты расчетов хода температур для трех территорий обитания степного сурка представлены на рис. 3, 4, 5. Данные по срокам начала и окончания спячки для этих регионов приведены в литературе (Bibikov, 1980; Shubin, 1991; Tokarskii, 1997; Soroka, 2001).

В рассмотренных регионах температурные режимы верхней и нижней границы распространения гнездовых камер заметно отличаются. На верхней границе, на глубине 1,5 м, наблюдаются отрицательные температуры во всех популяциях, кроме Украины, с ее относительно мягким климатом. В Поволжье отрицательные температуры на этой глубине наблюдаются на протяжении двух месяцев (февраль-март), на Южном Урале – трех месяцев (с января по март), а в Центральном Казахстане – четырех месяцев (с января по апрель). Глубина проникновения отрицательных температур в почву в Украине – 1,2 м, в Поволжье – 1,7 м, на Южном Урале и в Центральном Казахстане – 2,2 м. Ход температуры асимметричен относительно максимумов и минимумов: они наступают ближе к концу периодов прогрева и остывания почвы соответственно. Таким образом, животные, обитающие в неглубоких норах, сталкиваются с относительно большой амплитудой температурных колебаний в течение года, причем самые низкие температуры наступают незадолго до окончания спячки, а самые высокие – в начале спячки или незадолго до этого. Для западных популяций (Украина и Поволжье) температурный режим на небольшой глубине более ровный, чем для восточных.

На нижней границе расположения нор (4,5 м) температура гораздо меньше подвержена годовым колебаниям: в течение всего года здесь сохраняется относительно стабильная невысокая положительная температура, с годовой амплитудой в несколько градусов Цельсия. Температурный режим на этой глубине определяется, в основном, среднегодовой температурой поверхности и температурой термонеutralного слоя, изменения которых происходят гораздо медленнее. При большой глубине расположения гнездовой камеры разница между географическими популяциями мала: температура нор наиболее удаленных друг от друга популяций (Украина и Центральный Казахстан) отличаются в среднем на 3°C.

Таким образом, при постройке норы перед сурком стоит выбор: или делать глубокую нору с относительно постоянным температурным режимом, затрачивая на это

относительно большое количество энергии и времени, или делать менее глубокую нору, но сталкиваться с резкими изменениями температуры в течение года и, в некоторых случаях, с отрицательными температурами в течение более или менее длительного периода. Особенно остро эта проблема стоит для популяций, расположенных в областях с более континентальным климатом.

References / Список литературы

- Afanas'eva T.V. Vasilenko V.N., Tereshina T.V., Sheremetov V.V. 1979. Soils of the USSR. Moscow, Mysl', 380 pp. (in Russian).
- Basis of agrophysics, 1959. Joffe A.F., Revut I.B., eds., Moscow, Gos. izd-vo. fiz.-mat. literatury, 909 pp. (in Russian).
- Bibikov D.I., 1980. Geographical features of ecology. In Marmots. Biocenotic and practical role. Moscow, Nauka, 50-69. (in Russian).
- Dimo V.N. 1972. Thermal condition of the USSR soils. Moscow, Kolos, 360 pp. (in Russian)
- Hanks R. J., Ashcroft J. L. 1985. Applicative soil physics. Soil temperature and moisture. Leningrad, Gidrometeoizdat, 151 pp. (in Russian, transl. from Engl.).
- Kachinskii N.A. 1965. Soil physics. v.1. Moscow, Vysshaja shkola, 323 pp. (in Russian)
- Khutorskoy M.D. 1996. Geothermics of Central-Asian fold belt: Monography. Moscow, RPFU Publ., 338 pp. (in Russian).
- Lobanov V.S. 1983. Structure of Kazakhstanian baibak's hibernacula. In Protection, rational use and ecology of marmots. Proceedings of all-union conference, 3-5th of February, 1983, Moscow, Moscow, SA USSR, 63-64. (in Russian).
- Nikol'skii A.A. 2003. Adaptive strategies and diversity in marmots. Ramousse R., Allaine D. & Le Berre M., eds., International Marmot Network, Lyon. 2003, 189-194.
- Nikol'skii A.A., Belovezhets K.I., Ronkin V.I., Khutorskoy M.D. 2005. A Mathematical Model of the Temperature Conditions of Mammalian Burrows as Exemplified by the Burrow of the Marmot *Marmota bobak* Müll., 1776. v.403 (5): 713-714. (in Russian).
- Nikol'skii A.A., Khutorskoi M.D. 2001. Thermal Characteristics of Mammalian Burrows in Summer (Using a Burrow of the Steppe Marmot as an Example). Doklady Biological Sciences. vol. 378 (1): 240 - 243. (in Russian).
- Shubin V.I. 1991. Hibernation and reproduction terms of Kazakhstanian baibak. In Biology, ecology, protection and rational use of marmots. Proceedings of all-union conference, Suzdal, 28th of January –1st of February 1991, Moscow, 170-174.
- Soroka O.V. 2001. Ecology of the Bobak Marmot in the Orenburgskii State Nature Reserve, Cand. Sci. (Biol.) Dissertation, Moscow, 147 pp. (in Russian).
- Tokarskii V.A. 1997. Baibak and other species of *Marmota*. Harkov, 303 pp. (in Russian).
- USSR climate guide. 1965. r. 10 v. 2. Air and soil temperature, Leningrad: Gidrometeoizdat, 606 pp. (in Russian).
- USSR climate guide. 1966. r. 12 v. 2. Air and soil temperature, Leningrad: Gidrometeoizdat, 344 pp. (in Russian).
- USSR climate guide. 1967. r. 18 v. 2. Air and soil temperature, Leningrad: Gidrometeoizdat, 656 pp. (in Russian).
- USSR Hydrothermal map. 1:7 500 000, 1978. Frolov N.N., Zekcer I.S., eds., Moscow - Leningrad, GUGK USSR.
- Zimina R.P., Polevaja Zh.A. 1980. Baibak in Kazakhstan. In Marmots. Biocenotic and practical role. Moscow, Nauka, 43-50. (in Russian).