

Influence des facteurs biologiques sur le microclimat en conditions karstiques tropicales

Alexey STOEV & Penka MAGLOVA

(traduit du russe par S. VI. BAKALOVA)

Résumé

Des recherches complexes, effectuées dans l'île de Cuba, sur le microclimat en conditions karstiques tropicales, ont permis d'analyser l'effet thermique provoqué par la présence dans une grotte d'un grand nombre de colonies de chauves-souris (avec de 3 à 8 millions d'individus par colonie).

Selon des mesures effectuées pendant un mois, il est prouvé que les paramètres du microclimat demeurent constants en dépit des variations météorologiques à l'extérieur de la grotte. Le rôle direct et le rôle indirect de la température corporelle et de la quantité de chaleur émise par les Chiroptères, individuellement et collectivement, ont été étudiés; l'émission de chaleur par les excréments qui fermentent sur le sol de la grotte ("guano") fait partie du processus. L'influence de ces conditions sur le spéléologue et leur effet nuisible sur lui sont aussi traités.

Summary.

During complex investigations on climate in tropical karst conditions in the island of Cuba, a new influence on the cave microclimate was studied and described: the thermic effect of enormous amounts of bat colonies (3-8 millions bats in each colony).

According to a month measurement, it has been proved that the cave microclimate parameters do not change with the outside variations, but is influenced by the presence of these animals. The direct and indirect role of the heat quantity emitted from the bats individually and from a colony as a whole has been investigated. Heat emission from the fermenting excrements of the bats is considered as a part of the process.

The influence on the speleologist and the harmful effect of staying in such a cave have been discussed.

Температурный режим в приземной части атмосферы влияет прямо и косвенно на температурный режим микроклимата в пещерах. В климатических условиях тропиков он определяет выпадение осадков или косвенно влияет на гидрологический режим на поверхности и под землей. Прямое влияние температуры, однако, все еще не вполне установлено. Ясно, что карбонатная емкость воды уменьшается с повышением температуры. В то же время увеличивается скорость растворимости известняка интенсифицируется биологическая и микробиологическая деятельность усиливается действие биохимических процессов. Все эти влияния однако, являются внешними для пещерных систем и карстообразования. Во время комплексной научно-исследовательской геологической экспедиции на остров Куба был описан и изучен новый источник влияния на температурный режим пещерного микроклимата. Он связан с наличием огромных колоний летучих мышей/3-8 миллионов каждая колония/. Теплота излученная от их тел и брожение выделяемых ими отбросов температура повышается в среднем 4-6° С. Детально была исследована пещера Куева дел Маха/пещера Змеи/ расположена на юго-восточных склонах карстового плато Гуасо /Восточная Куба, вблизи города Гуантанамо/.

I. INTRODUCTION

Le régime des températures dans les couches les plus basses de l'atmosphère a une influence, directe et indirecte, sur le microclimat des grottes. Dans la zone tropicale, il détermine les précipitations et influence ainsi le régime hydrologique à la surface et sous terre.

On sait que la capacité qu'a l'eau de dissoudre les composés carbonatés diminue avec l'élévation de la température; mais, en même temps, la vitesse de la solubilité du calcaire augmente grâce à l'activité biologique et microbiologique, tout comme les processus biochimiques s'activent.

Pendant l'expédition spéléologique de recherches complexes à Cuba, on a observé et décrit un phénomène particulier qui agit sur le microclimat des grottes. Il s'agit de l'émission de chaleur par des chauves-souris et par leurs excréments, qui peut accroître la moyenne de température de 4 à 6° C. Cela s'explique par le grand nombre de colonies de ces Chiroptères, dont chacune peut comprendre de 3 à 8 millions d'individus.

C'est la Cueva del Majá, située sur le versant sud-oriental du plateau Guasso, près de la ville de Guantanamo, qui a été tout particulièrement étudiée.

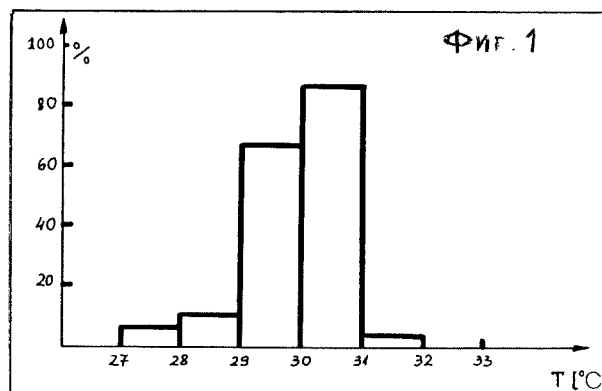


Figure 1 : Fréquences de température dans la galerie

II. OBSERVATION DE LA TEMPERATURE

En tenant compte de la morphologie de la grotte, de son schéma de ventilation et des résultats des études initiales, on a choisi 14 points pour y analyser le microclimat. A l'entrée, où il y a contact direct avec les couches basses de l'atmosphère extérieure, on a constaté un net changement des éléments météorologiques quand il s'en produit dehors.

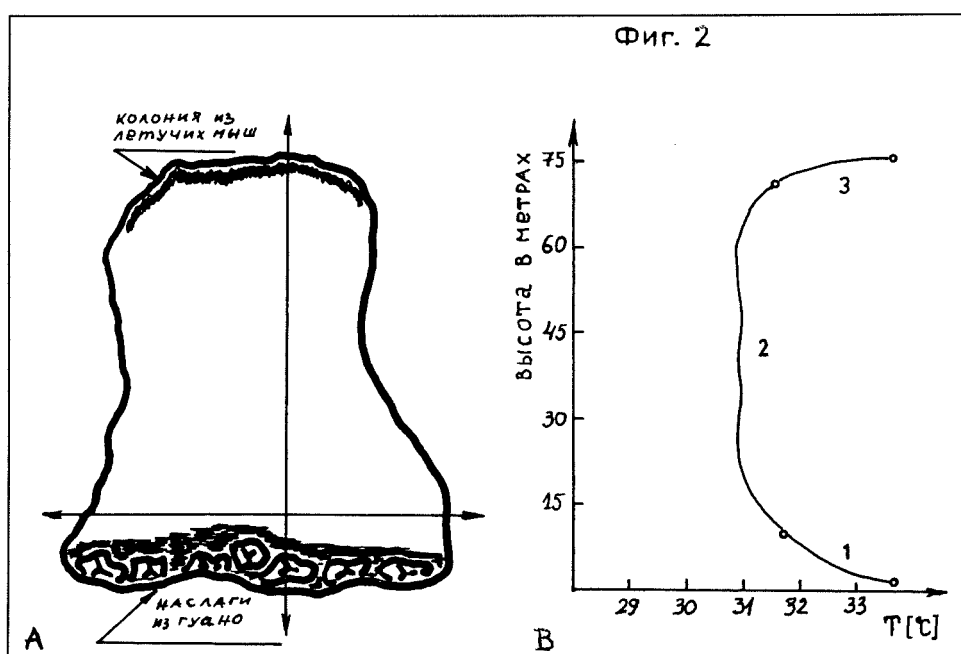


Figure 2 : Gradient thermique vertical dans la plus vaste salle

A. Coupe. Colonies de chauves-souris à la voûte, guano entassé à terre

B. Température en abscisse, hauteur (en mètres) en ordonnée

Les mesures ont été effectuées le long de l'axe de la grotte, à une distance de 0,4 a du conduit (a étant la hauteur ou la largeur la plus faible de la galerie) et à des intervalles de 0,5 m le long de l'axe et le long de la section transversale où se trouvaient les chauves-souris. Pour déterminer les paramètres de l'influence thermique du courant d'air provenant des roches voisines et de l'extérieur, on a fait des observations de gradient de température à des distances de 0,1, 0,2, 0,3, 0,5, 1,0, 1,5 et 2,0 m du sol ou des parois aux endroits où il y a aspiration d'air. On a mesuré le volume d'air de la grotte (700 000 m³) et les paramètres de la circulation d'air (laminaire ou turbulente) aux différentes heures du jour et de la nuit. Pour obtenir la carte du microclimat local, on s'est servi d'appareils à écriture automatique enregistrant la température, l'humidité et la pression atmosphériques. Un microanémomètre à thermocouples infrarouges a été utilisé pour avoir des mesures anémométriques précises. Comme mesure de contrôle, la température du massif calcaire a été prise; elle est constante, à 28 ± 0,6 °C.

Les fréquences de température le long de la galerie sont présentées d'une façon générale sur l'histogramme (Fig. 1). Le gradient vertical de la température dans la plus vaste salle, qui contenait le plus grand nombre de colonies de chauves-souris, est présenté sur la Fig. 2. Comme les sources de chaleur se trouvent sur la voûte (v) et à terre (t), deux courants de chaleur apparaissent dans la salle : O_v et Q. La grotte exporte aussi de la chaleur. Au moment de l'envol massif des adultes qui partent à la chasse nocturne, il se produit une baisse de température d'environ 2 °C qui persiste jusqu'à l'aube, quand les chauves-souris reviennent tout aussi massivement. En 1 h ou 2, la température redevient stationnaire (Fig. 3).

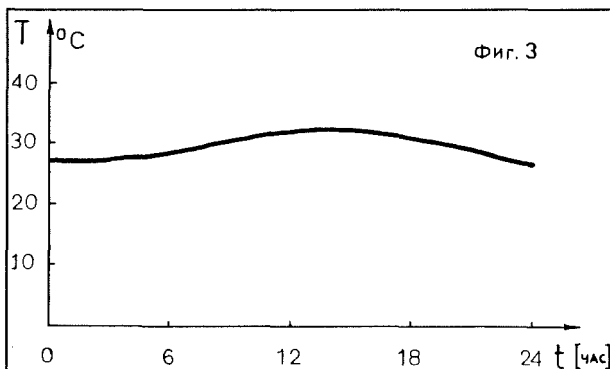


Figure 3 : Evolution de la température en 24 h

Les autres grottes dont les paramètres morphométriques sont semblables, mais où il n'y a pas cette foule de

chauves-souris, ont une température moyenne plus basse, de 4 à 6 °C, que Cueva del Majá (Fig. 4); ceci nous permet de conclure que le bilan énergétique est tout différent à cause de la présence d'animaux à métabolisme intense.

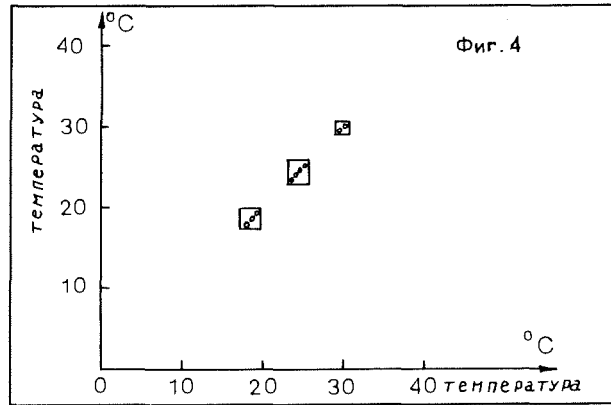


Figure 4 : Températures d'autres grottes

III. BILAN THERMIQUE - PRESENTATION GENERALE

En chaque point de la grotte existent des conditions spécifiques sous l'influence du passage d'air chaud d'un point donné vers un autre point donné, et en rapport avec le rayonnement et la convection. En utilisant la méthode du bilan, nous pouvons exprimer l'échange énergétique comme suit:

$$Q_{tot} = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6) - (Q_7 + Q_8) \pm T \quad (1)$$

où Q_{tot} est le stock de chaleur,

Q_1 l'énergie d'échange thermique des parois des salles et des galeries,

Q_2 l'énergie de la circulation d'air,

Q_3 l'énergie de la chaleur terrestre,

Q_4 l'énergie de la chaleur corporelle des chauves-souris,

Q_5 l'énergie de l'air expiré par ces dernières,

Q_6 l'énergie de leurs excréments qui fermentent,

Q_7 l'énergie exportée par l'air,

Q_8 l'énergie exportée par les chauves-souris pendant leur sortie,

et T l'énergie transformée des réactions biochimiques et des processus biologiques dans la grotte.

Au sein du massif karstique, il existe un champ thermique, déterminé par la fluctuation du rayonnement solaire d'une part, par la fluctuation géothermique d'autre part, toutes deux considérées comme constantes. Divers auteurs (ANDRIEUX, 1972; KREMNEV & JOURAVLENKO, 1980) ont étudié les termes Q , Q_2 , Q_3 , Q_7 dans Q_{tot} .

D'autre part, on a:

$$Q_4 + Q_5 = \sum_{i,j=1}^n (q_1 + q_3) \quad (2)$$

où n est le nombre d'individus de la colonie de chauves-souris, et

$$Q_6 = \alpha(t_e - t_a)Fd \quad (3)$$

où F représente l'aire de la source thermique (en m²),
 d la durée d'échange de la chaleur entre les excréments amassés et l'atmosphère de la grotte,
 t_e la température, constante, des excréments fermentant (37,5 °C),
 et t_a la température de l'air (31,2 °C).

L'échange thermique et énergétique est l'indice le plus significatif de l'état physiologique des organismes. C'est pourquoi l'étude de la quantité d'oxygène utilisée par les Chiroptères et de leur émission de chaleur est liée à l'expérience et à des équations énergétiques empiriques. Les recherches thermométriques attestent une température corporelle de 39,8 °C, qui varie de ± 0,8 °C selon l'heure. Le rythme respiratoire s'accélère aux moments du départ et du retour (WIMSATT, 1970).

Pour trouver les conditions thermiques dans la salle et les galeries, il faut aussi considérer l'échange thermique entre toutes les sources biologiques de chaleur et l'air de la grotte. Cet échange s'effectue par rayonnement et par convection. Le courant thermique de convection est exprimé par l'équation:

$$Q_k = h_k(t_a - t_e) \quad (4)$$

h_k représentant le coefficient de convection.
 Le courant thermique provenant de la chaleur émise par les corps des chauves-souris isolées des colonies s'exprime ainsi:

$$Q_{isol} = E_{h_{isol}}(t_f - t_c) \quad (5)$$

où E_{h_{isol}} est le coefficient d'échange thermique par rayonnement,
 t_f la température moyenne du front extérieur des colonies,
 et t_c la température corporelle des chauves-souris (LIKOV, s. d.).
 Après de nombreuses recherches, nous avons constaté que la condition t_f=t_c est remplie.

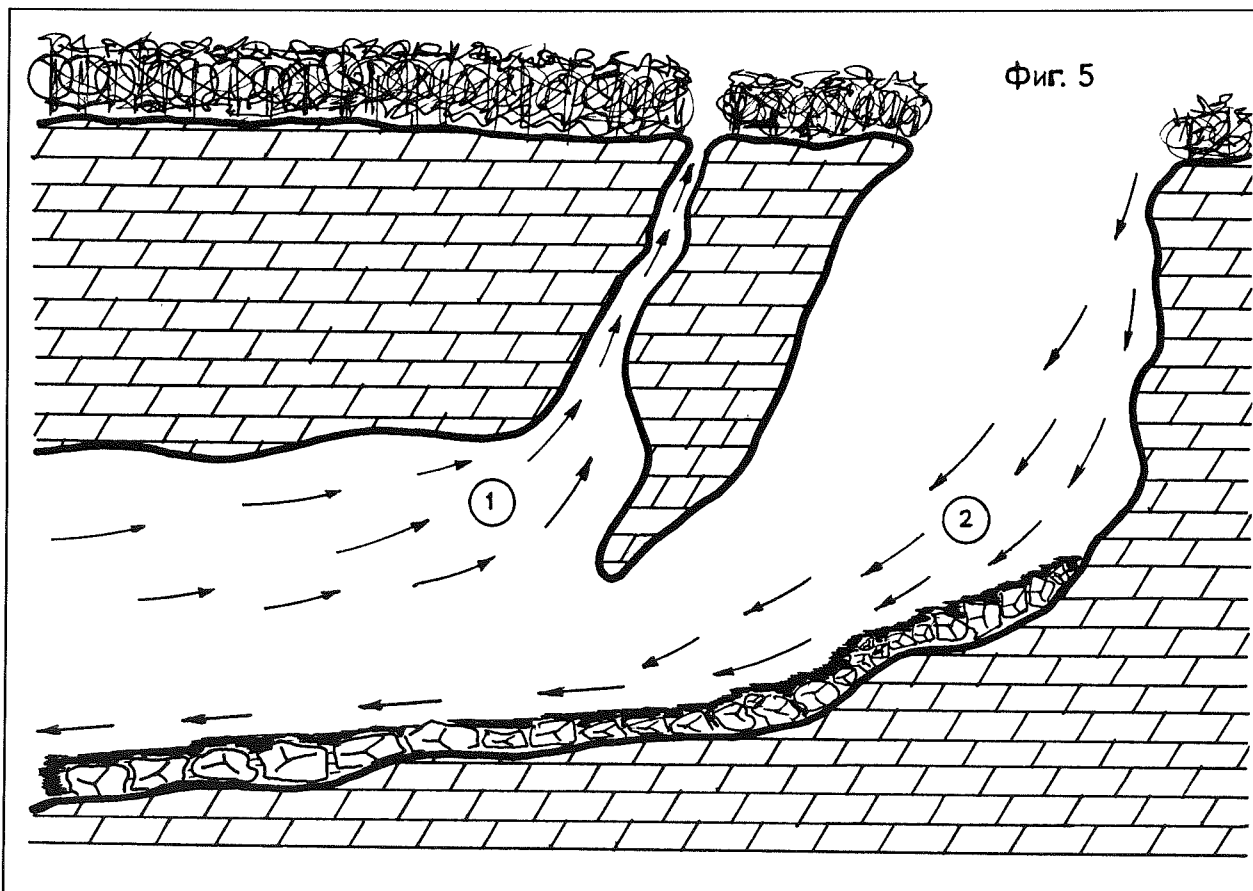


Figure 5 : Circuit des courants d'air. 1 courant sortant 2 courant entrant

Par conséquent, le courant thermique des colonies et des excréments s'exprime par l'équation:

$$E_{h_{\text{sol}}}(t_a - t_e) + h_c(t_a - t_e) = (E_{h_{\text{sol}}} + h_c)(t_a - t_e) = (1/R_r)(t_a - t_e) \quad (6)$$

dans laquelle R_r est la résistance thermique pendant la circulation.

Comme la température corporelle des chauves-souris, t_e , varie de 39,0 °C à 40,5 °C, nous avons pour le courant thermique vers l'axe de la galerie:

$$h_c = 3,75 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} \text{ et } R_r = 0,375 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}.$$

Le courant augmente pendant l'envol nocturne et le retour des chauves-souris, la température corporelle atteignant 42 °C au cours du vol. Alors h_c $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$, ce qui se répercute immédiatement sur la température thermodynamique de la grotte, qui s'élève de 1,5 - 2,0 °C.

La chaleur exportée par le courant d'air nocturne de ce que l'on pourrait appeler le "circuit des vents" (Fig. 5) augmente aussi pendant l'envol en masse vers 19 h; la température s'élève alors de 31 °C à 32,2 °C.

L'air, plus frais, des basses couches de l'atmosphère afflue et prend la chaleur de toutes les sources calorifiques de la grotte. On peut calculer cette chaleur:

$$Q_{\text{vent}} = c\delta v(t_{\text{gr}} - t_{\text{ext}}) \quad (7)$$

où c est l'absorption thermique relative de l'air (en J/kg),

δ la densité de l'air (en kg/m^3),

v le volume relatif de l'air frais qui afflue (en m^3/s),

t_{gr} la température de l'air dans la grotte,

et t_{ext} la température de l'air qui arrive de l'extérieur (IVANOV & MIKHAÏLOV, 1978).

IV. RÉGIME THERMIQUE DE LA GROTTE DU AUX INFLUENCES ANIMALES

La température la plus fréquente dans la grotte (31-32 °) est celle qui est due à la présence des colonies de chauves-souris (Fig. 6). Le rôle important de la température corporelle sur le microclimat de la grotte apparaît dans des calculs faits selon le modèle d'interaction énergétique. L'énergie thermique accumulée lors de la circulation d'air, y compris la diffusion thermique, pénètre dans l'atmosphère en puissants courants turbulents.

La température du courant d'air reste toujours plus élevée que la température du massif calcaire avoisinant. La vague thermique, dans de telles conditions, se dirige vers les parois de la salle ou des galeries et revient au

centre même du courant turbulent. C'est le phénomène de la répartition de la température et des courants thermiques.

Le début du refroidissement coïncide avec le déplacement des chauves-souris vers l'extérieur. Du moment qu'une des sources de chaleur cesse d'émettre des calories, la vitesse de la diffusion thermique est en rapport avec la vitesse du courant d'air et les mouvements provoqués par le déplacement de certains membres de la colonie.

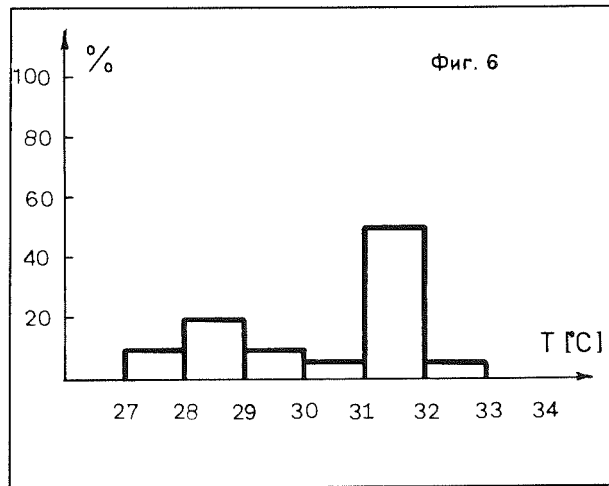


Figure 6 : Fréquences de température dans la grotte

Bien que les sources de chaleur soient d'origines différentes, leurs deux évolutions thermiques suivent et se soumettent à un même phénomène de base dans le processus de la circulation thermique. Pendant ce temps, la couche d'air aux confins de la grotte conserve son régime laminaire et aussi sa capacité d'isolation thermique des parois calcaires, quelle que soit leur place le long de l'axe principal de la grotte. L'inertie thermique enregistrée sur l'échelle n'est point équivalente aux variations thermiques de l'atmosphère de la grotte (ZOTIN, 1974). Il est évident que, dans de telles conditions, de pareilles variations thermiques ne sont pas "normales"; elles ne peuvent être expliquées que par l'importance de la chaleur reçue des colonies de chauves-souris et de leurs excréments.

V. BIBLIOGRAPHIE

- ANDRIEUX, C., 1972, Le système karstique du Bagel. 1. Sur la thermique des eaux au niveau de l'exutoire principal. Note préliminaire. *Ann. Spéléol.*, 27,3 : 525-541.
- GEIGER, R., 1965. *The climate near the ground*, Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass. : 87-165.

- IVANOV, V. & MIKHAÏLOV, M., 1978, *Teploperenos*, Tekhnika, Sofia: 134-150.
- KREMNEV, O. & JOURAVLENKO, V., 1980, Teplo- i massoobmen v gornom massive i podzemnikh sooroujeniakh, *Naoukova doumka*, Kiev : 7-74.
- LIKOV, A. V., s.d., *Teplomassoobmen* (spravotchnik), Energia, Moskva : 93-145, 202-239.
- WIMSATT, W. A. (Ed.), 1970, *Biology of bats*, v. 1-2, New York.
- ZOTIN, A., 1974, *Termodinamitcheskii podkhod k problemam razvitiia, rosta i starenia*, Naouka, Moskva : 34-36.

Adresses des auteurs:

Alexey Stoev
Observatoire astronomique
et planétarium Y. Gagarine
BG - 6000 STARA ZAGORA
BULGARIE

Penka Maglova
Institut de Recherches cosmiques
Académie bulgare des Sciences
BG - 6000 STARA ZAGORA
BULGARIE