Études climatologiques.

Par
DEZYDERY SZYMKIEWICZ.
(Avec la planche VI).

VII. Remarques sur la classification des climats.

On emploie souvent en phytogéographie écologique une classification des climats basée sur l'amplitude annuelle de la température de l'air. On distingue d'une part les climats océaniques caractérisés par une faible variation de la température et d'autre part les climats continentaux avec une forte variation. Il s'y ajoute encore une différence dans le régime des précipitations qui sont, en général, abondantes dans le climat océanique et faibles dans le climat continental.

Cette classification des climats a été établie par la géophysique en déhors de toutes considérations d'ordre biologique. Or, ce qui agit sur la végétation ce n'est pas la variation de la température mais la température elle-même, abstraction faite naturellement des certains phénomènes physiologiques dont l'importance pour la distribution des végétaux n'est pas encore connue. Le rôle de l'amplitude annuelle de la température dans la vie des végétaux ne peut donc consister qu'en corrélation avec d'autres facteurs qui agissent directement. Mais on peut montrer facilement qu'à une amplitude donnée de la température correspondent souvent d'autres facteurs climatiques extrêmement disparates et, en conséquence, les formes de la végétation les plus variées. Ceci ressort très nettement des exemples réunis dans la table I.

On voit dans la table I qu'à la même amplitude annuelle de la température peuvent correspondre les régimes des précipitations les plus divers, depuis l'absence presque complète des pluies jusqu'à trois mètres d'eau tombée par an. On voit aussi qu'un climat extrêmement chaud peut présenter la même amplitude de la température qu'un climat très froid: El Goléa, le point peut être le plus chaud

Table I.

Station	Température moyenne du mois le plus chaud	Température moyenne du mois le plus froid	Amplitude de la température	Précipitations en mm	Végétation
Iquique (Chili)	21.6	15.3	6.3	1	Désert
Valdivia (Chili)	15.3	7.6	7.6	1617	Forêt
Ile des Évangelistes (Chili)	8.5	3.0	5.5	2972	Forêt
Swakopmund (Afrique)	17.4	12.7	4.7	18	Désert
Dar-es-Salaam (Afrique)	27.7	23 1	4.6	1151	Forêt
El Goléa (Sahara)	34.1	9.5	24.6	48	Désert
Kola (Russie)	12.3	—11.8	24.1	394	Toundra
Kief (Russie)	19.2	– 6.2	25.4	693	Forêt

Table II.

Batavia. Juillet 1912.

Heures du temps local	Indice d'évaporation en mm de mercure	Vitesse du vent en m/sec
1	2.2	0.15
2	2.0	0.19
3	1.8	0.27
4	1.8	0.15
5	1.7	0.13
6	1.7	0.16
7	1.9	0.25
8	3.1	0.65
9	5.3	1.13
10	8.0	1.71
11	10.6	1.89
12	12.5	2.03
13	12.8	2.08
14	11.9	2.45
15	11.5	2.78
16	10.8	2.55
17	9.5	2.13
18	7.5	1.13
19	5.9	0.47
20	4.9	0.36
21	3.9	0.20
22	3.4	0.24
23	2.9	0.15
24	2.5	0.17

de la terre et Kola situé au bord de l'Océan Glacial, c'est un rapprochement vraiment paradoxal!

On arrive ainsi à la conclusion que le caractère océanique ou continental du climat ne détermine, à lui seul, en aucune façon la forme de la végétation. La classification des climats à l'usage de la phytogéographie écologique doit être basée sur des facteurs qui agissent sur la végétation d'une façon plus directe que ne le fait l'amplitude annuelle de la température de l'air.

VIII. Sur la corrélation entre les facteurs agissant sur l'évaporation et la transpiration.

L'évaporation et la transpiration sont influencées, comme on le sait, par cinq facteurs: l'humidité et la température de l'air, la pression barométrique, le vent et la radiation. Comme je l'ai démontré dans la partie V de ces études, on peut représenter l'influence de l'humidité et de la température de l'air et de la pression barométrique par une seule quantité que j'ai nommée l'indice d'évaporation et que j'ai définie par la formule:

$$i = (p_1 - p)\,\frac{273 + t}{273}\,\frac{760}{P - p_1}$$

Ici p_1 est la tension de vapeur d'eau saturée à la température t de l'air, p est la tension de vapeur dans l'atmosphère et P — la pression barométrique. On peut ainsi simplifier l'énoncé du problème, en ne parlant que de trois facteurs: de l'indice d'évaporation, de la vitesse du vent et de l'intensité de la radiation.

Or, il existe une intéressante corrélation entre ces trois facteurs: ils sont faibles la nuit, augmentent rapidement d'intensité après le lever du soleil et arrivent au maximum au milieu du jour pour baisser rapidement le soir. On le voit très nettement sur l'exemple tiré au hasard des observations de Batavia (table II et fig. 1). Dans cet exemple on a omis, faute d'observations, une représentation numérique de la radiation, mais le caractère général de la variation subie pas ce facteur est suffisamment connu.

Les trois facteurs n'arrivent pas simultanément au maximum. La radiation atteint le point culminant quelque temps avant le midi et se maintient à cette hauteur pendant un certain temps après le midi. L'indice d'évaporation arrive au maximum en même temps avec la température, quelque temps après le midi (à 13^h à Batavia). Enfin le vent devient le plus fort encore plus tard dans l'après midi (à 15^h

à Batavia). On voit que les maxima, quoiqu'asynchroniques, ne sont pas trop distants l'un de l'autre.

La corrélation, qui vient d'être décrite, présente une grande importance pour les végétaux. L'accroissement presque simultané de l'indice d'évaporation, du vent et de la radiation qui se produit au milieu du jour provoque une forte augmentation de la transpiration qui peut être très nuisible. D'autre part la diminution de ces facteurs qui a lieu la nuit est un phénomène favorable à la végé-

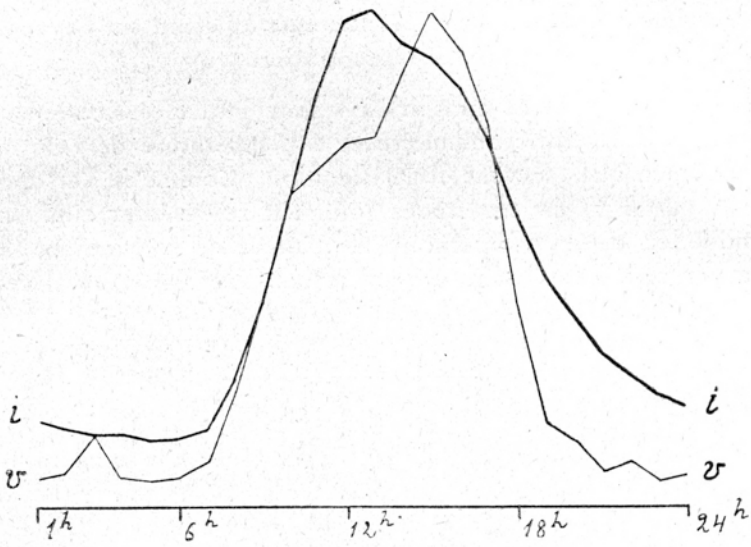


Fig. 1.

tation, car la transpiration se trouve affaiblie au moment quand elle pourrait être particulièrement dangereuse à cause des gelées nocturnes.

IX. Sur l'importance des mesures de la nébulosité pour la phytogéographie écologique.

Les nuages interceptent, comme on sait, une partie de la radiation solaire. La fraction de la radiation qui arrive jusqu'à la terre est égale à peu de choses près à la fraction du ciel libre des nuages. L'étude de la nébulosité donne, par conséquent, un moyen très simple pour caractériser un climat au point de vue de la radiation. L'importance de l'étude de la nébulosité se dégage de ce fait que l'intensité de la radiation solaire directe varie faiblement à la surface du

globe terrestre, si l'on fait abstraction de la partie la plus proche des poles. On peut citer à l'appui les données suivantes. A Abisko (Lapponie suédoise, à 68° de latitude Nord) Mr Funke[1]) a observé en juillet et août 1914 les maxima diurnes de la radiation directe se rangeant dans l'intervalle de 1.003 à 1.320 cal/cm². min avec une valeur moyenne de 1.225. D'autre part Mr Gorczyński pendant son expédition au Siam a observé en 1923 les maxima diurnes que voici (cité d'après une publication autographiée):

8 mars, Océan Atlantique, lat. 38° N.	1.39
13 mars, Méditerranée, lat. 36° N.	1.39
18 mars, Suez, lat. 29° N.	1.22
20 mars, Mer Rouge, lat. 22° N.	1.24
23 mars, Golfe d'Aden, lat. 12° N.	1.36
28 mars, Océan Indien, lat. 10° N.	1.36
10 avril, Golfe de Siam, lat 3° N.	1.28
5 mai, Bangkok (Siam), lat. 14° N.	1.15
10 mai, „ „ „ „ „	1.11
15 mai, „ „ „ „ „	1.25
21 mai, „ „ „ „ „	1.22
22 juillet, Océan Indien, lat. 4° N.	1.20
28 juillet, Golfe d'Aden, lat. 11° N.	1.12
31 juillet, Mer Rouge, lat. 18° N.	1.17
1 août, Méditerranée, lat. 33° N.	1.28
5 août, „ „ 34° N.	1.38
7 août. „ „ 38° N.	1.28

Le même auteur a obtenu pendant ses observations effectuées dans la période de 23 mars à 13 avril 1924 dans l'oasis Touggourt les maxima diurnes se rangeant entre 1.32 et 1.44 avec une valeur moyenne de 1.38 [2]).

On voit donc que le régime de la radiation dépend surtout de l'angle d'incidence des rayons solaires et de la nébulosité ou, si l'on prend des régions pas trop étendues, de la nébulosité seule. La grande influence de la nébulosité sur la radiation et, par son intermédiaire, sur la végétation montre la carte de la distribution des valeurs

---

[1]) Funke, A. Mesures de la radiation solaire à Abisko pendant l'été 1914. — Meddelanden fran Statens Meteorologisk-Hygrografiska Anstalt. Band. 1, Nr. 3 (1921).

[2]) Gorczyński, L. Mesures de l'intensité totale et partielle du rayonnement solaire effectuées en 1924 en Afrique Française du Nord et spécialement à l'oasis Saharienne de Touggourt. — Annales du Service Botanique de Tunisie. 1925.

moyennes annuelles de la nébulosité (pl. VI) tracée d'après celle de Tessereinc de Bort. Toutes les régions arides s'y dessinent très nettement par leur faible nébulosité.

X. Sur un nouvel actinomètre.

Il y a trois sortes de la radiation agissant sur la végétation: la radiation directe du soleil, la radiation diffuse du ciel et la radiation propre de l'atmosphère et des objets environnants. La radiation directe du soleil et la radiation diffuse qui en provient ont une composition spectrale semblable: elles se composent d'ondes assez courtes, n'excédant pas 3 μ. La différence, qui existe entre elles, consiste dans la position du maximum d'intensité qui est situé dans la partie orangée du spectre pour la radiation directe et dans la partie bleue pour la radiation diffuse. La radiation propre de l'atmosphère et des objets environnants a une composition tout à fait différente: cette radiation est composée d'ondes très longues, d'une longueur supérieure à 3 μ avec le maximum d'intensité à 10 μ. Il importe beaucoup pour l'écologie végétale de connaître l'intensité de ces trois sortes de la radiation séparément, parce que l'action de la radiation diffère beaucoup avec la longueur d'onde. Étant donné que la radiation directe et la radiation diffuse ont une composition semblable, on peut se contenter de mesurer ces deux sortes de la radiation ensemble, mais séparément de la radiation propre de l'atmosphère et des objets environnants.

Le problème en question a été resolu par Mr Anders Angström par l'usage de l'oxyde de magnésium comme substance absorbant la radiation. Cette substance, d'après les recherches de Mr Coblentz[1]), a la propriété extrêmement importante d'absorber les ondes de longueur supérieure à 4 μ aussi fortement que le noir de platine et de n'absorber que très faiblement les ondes courtes. Elle est „noire" pour les ondes longues et „blanche" pour les ondes courtes. Ce n'est pas encore tout: le pouvoir absorbant de l'oxyde de magnésium pour les ondes courtes est non seulement minime mais il est à peu près égal pour toutes les ondes dont la longueur n'excède pas 4 μ. De même son pouvoir absorbant pour les ondes longues est presque indépendant de leur longueur.

L'usage de l'oxyde de magnésium a permis à Mr Angström de construire son pyranomètre qui sert à mesurer la radiation directe et la radiation diffuse, séparément de la radiation à ondes

---

[1]) Coblentz, W. W. Bulletin of the Bureau of Standards, 9, 1913.

plus longues [1]). C'est un appareil extrêmement important pour l'écologie végétale. Malheureusement il n'a été jusqu'ici appliqué aux problèmes botaniques que par son inventeur lui-même. Cette première application a donné d'ailleurs des résultats très intéressants [2]). Le pyranomètre de Mr Angström a un défaut fort grave pour notre époque: il est assez coûteux (950 couronnes suédoises). Cette circonstance m'a amené à essayer de construire un appareil basé sur le même principe mais le plus simple possible.

J'ai réussi en effet à construire un appareil tellement simple que je peux me dispenser de donner un dessin. C'est tout simplement l'assemblage de deux thermomètres de mercure dans une petite caisse en bois. L'un de ces thermomètres est noirci dans la fumée de l'essence de térébenthine, l'autre est blanchi dans la fumée du magnésium. L'intérieur de la caisse est blanchi au plâtre pour que la radiation qui pénètre dans l'appareil soit réflechie d'une manière uniforme. Sous l'action de la radiation le thermomètre noir s'échauffe plus fortement que le thermomètre blanc. La différence des températures donne l'intensité de la radiation. Exposé au ciel nocturne, l'appareil montre la même température sur les deux thermomètres.

Le principal défaut de ce nouvel actinomètre est son inértie d'autant plus considérable que la masse des thermomètres est plus grande. Il faut attendre quelques minutes jusqu'à ce qu'il arrive à l'état d'équilibre thermique. Lorsqu'on prend des thermomètres de différentes dimensions, ils montrent des températures différentes, mais ces températures tendent à devenir égales avec le rapprochement à l'état d'équilibre thermique. On obtient ainsi les mêmes résultats avec les différents thermomètres. Les plus commodes sont naturellement les thermomètres les plus petits possibles.

Le second défaut de l'appareil, c'est sa sensibilité à l'action du vent. Il faut, par suite, enfoncer les thermomètres dans la caisse et alors ses bords interceptent une partie de la radiation à mesurer. Il est impossible ici de protéger l'appareil par une cloche en verre comme dans le pyranomètre de Mr Angström, parce que la cloche s'échauffe et l'état d'équilibre thermique ne sera pratiquement jamais atteint.

A cause de la rondeur des récipients thermométriques qui absorbent la radiation, l'actinomètre en question mesure toujours le

---

[1]) Angström, A. A new instrument for measuring sky radiation. — Monthly Weather Review, 1919, pp. 795—797.

[2]) Angström, A. The albedo of various surface of ground. — Geografiska Annaler, 1925, pp. 323—342.

maximum de la radiation que reçoit une surface plane mise dans un point donné. Il faut, par suite, l'orienter toujours perpendiculairement aux rayons du soleil et en général perpendiculairement à la direction d'où vient la radiation la plus forte.

Grâce à l'aimable permission de Mr le professeur Arctowski, Directeur de l'Institut de Géophysique de l'Université de Léopol, j'ai pu comparer mon actinomètre avec l'actinomètre d'Abbot système à disque d'argent. Mr Orkisz, assistant de l'Institut, a eu l'extrême obligeance d'effectuer les mesures comparatives avec l'actinomètre d'Abbot. Je l'en remercie bien sincèrement. Pour que les indications de deux appareils soient comparables, j'ai adapté à mon actinomètre un tuyau en carton à l'ouverture de 15^0. Ce tuyau laissait entrer une certaine fraction de la radiation diffuse qui ne differait que très peu de celle admise par l'actinomètre d'Abbot. Les mesures ont été effectuées: la première fois le 24 avril 1926 entre $10^h\,15^m$ et $12^h\,10^m$ et la seconde fois le 13 mai entre $5^h\,25^m$ et $10^h\,37$. La première fois la radiation a varié entre 1.299 et 1.371 cal/min. cm^2, tandis que les indications de mon actinomètre se rangeaient entre 23.7^0 et 25.4^0. En même temps la température de l'air oscillait entre 24.0^0 et 25.6^0. La seconde fois tous ces facteurs avaient une marche ascendante: la radiation de 0.649 à 1.221 cal/min. cm^2, la différence actinométrique dans mon appareil de 15.8^0 à 24.8^0 et la température de l'air de 8.0^0 à 16.9^0. La comparaison des résultats obtenus a montré que le rapport R entre la radiation et la différence actinométrique varie avec la température suivant l'équation:

$$R = (283.13 + 15.46\,t - 0.2006\,t^2)\,.\,10^{-4}$$

On déduit de cette équation les valeurs:

$t = 5^0$	$10^4\,R = (355)$
10^0	418
15^0	470
20^0	512
25^0	544

La valeur pour 5^0 est trouvée par l'extrapolation. Le calcul donne pour ces valeurs une erreur moyenne

$$10^4\,\sigma = 14.7,$$

ce qui constitue près de $3^0/_0$. C'est un résultat satisfaisant pour un appareil de cette simplicité.

L'actinomètre, qui vient d'être décrit, peut servir non seulement aux mesures relatives, mais aussi aux mesures absolues. Pour ces

dernières il faut multiplier la différence actinométrique par la valeur du coefficient R correspondant à la température de l'air au moment d'observation.

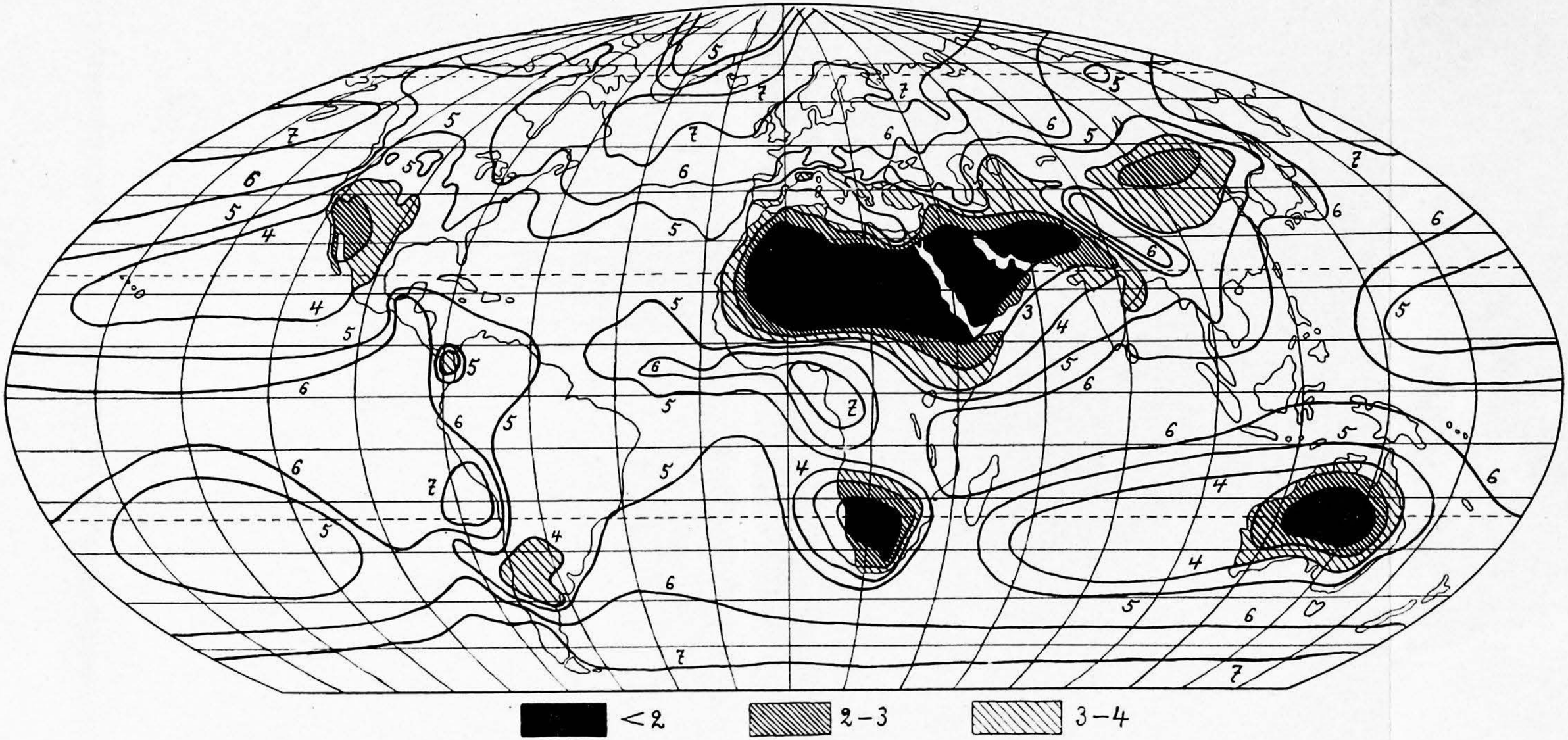
Un actinomètre semblable a construit Mr L. Iwanow[1]) avec deux thermomètres noircis dont l'un est exposé à la radiation et l'autre en est garanti par un ecran opaque. Les thermomètres sont enfermés dans une caisse et protégés par une plaque de verre. On peut émettre quelque doute sur le bon fonctionnement de cet actinomètre, parce que la plaque en verre qui recouvre les thermomètres doit provoquer un échauffement continuel de l'appareil. Ses indications doivent être influencées par la température de l'air dans la caisse.

Laboratoire de Botanique de l'École Polytechnique de Léopol.

(Wpłynęło do redakcji 7 maja 1926).

---

[1]) Iwanow, L. Neue Apparate zur Bestimmung der vollständigen und physiologischen Sonnen- und Himmelstrahlung. — Ber. Deutsch. Bot. Ges. XLIII (1925). 315—324.


<2
2–3
3–4