

## АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ, ОПТИЧЕСКАЯ ПОГОДА И КЛИМАТ

УДК 551.591/593

Б.Д. Белан, Т.К. Складнева, Н.В. Ужегова

### Различия альbedo подстилающей поверхности г. Новосибирска и его окрестностей

*Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск*

Поступила в редакцию 19.08.2004 г.

Приводятся данные измерений альbedo подстилающей поверхности с помощью пиранометров, установленных на самолете-лаборатории, над территорией г. Новосибирска и его окрестностей. Показано, что среднегодовое альbedo для Новосибирска составляет 0,256, для пригорода — 0,356. Различия между соседними территориями 33%. В сезонном ходе различия сохраняются, хотя их амплитуда изменяется. В зимний период альbedo пригорода может достигать 0,84. В летний период альbedo городской территории может уменьшаться до 0,08. Такое поведение отражательной способности поверхности обуславливает дополнительный приток солнечной энергии на территорию города от 23,8 до 147,8 Вт/м<sup>2</sup>.

#### Введение

Современный город, по данным многочисленных исследований, характеризуется повышенными значениями температуры воздуха по сравнению с окрестностями, и это явление получило название «остров тепла» [1]. Разница в температурах между центром и окраиной города может достигать 12 °С и зависит от его масштабов [2]. Существуют два мнения по этому поводу.

Первое заключается в том, что за счет поступления в атмосферу города примесей меняется радиационный режим, обусловленный дополнительным поглощением солнечной радиации. Второе — дополнительное, к солнечному, поступление тепла за счет хозяйственной деятельности [3].

Согласно [4] суммарный радиационный баланс для городских условий можно записать в виде

$$Q_N = Q_I(1 - A) + Q_{L\downarrow} - Q_{L\uparrow} = Q_S + Q_H + Q_E + Q_P,$$

где  $Q_I$  — нисходящее коротковолновое излучение, достигающее поверхности земли (прямое солнечное излучение плюс рассеянное излучение неба);  $A$  — альbedo поверхности;  $Q_{L\downarrow}$  — нисходящее длинноволновое излучение;  $Q_{L\uparrow}$  — восходящее длинноволновое излучение (тепловое излучение поверхности);  $Q_S$  — поток тепла в почву или другую среду;  $Q_H$  — поток тепла между атмосферой и поверхностью земли;  $Q_E$  — потери тепла на испарение с поверхности земли (или растительности) или его накопление из-за процессов конденсации (образование росы или инея);  $Q_P$  — антропогенное тепло.

В настоящей статье рассмотрим вопросы, связанные с изменением первого члена этого уравнения.

По данным, обобщенным в [4], при прохождении загрязненной городской атмосферы наибольшие потери солнечной энергии отмечаются при максимальной относительной толщине загрязненного слоя

воздуха, через который проходят солнечные лучи, т.е. при малых высотах солнца над горизонтом. Потери могут составлять 10–20% от прямой приходящей солнечной энергии. Здесь же отмечается, что одновременно резко возрастает (более чем в 2 раза) поток рассеянной радиации. Следовательно, суммарная радиация, приходящая к поверхности земли, не должна сильно изменяться. В этом случае большее значение приобретает величина альbedo, которая показывает количество солнечной энергии, поглощенной земной поверхностью, что и определяет тепловой баланс приземного слоя.

В литературе имеется крайне мало сведений об альbedo городских территорий и прилегающих окрестностей. В [4] приводятся данные Кунга с соавт., из которых следует, что значение альbedo для сельской местности на 10–30% больше, чем для городских территорий. Поэтому любые дополнительные измерения, несомненно, представляют интерес.

#### Методика измерений

Измерения альbedo выполнялись на самолете-лаборатории АН-30 «Оптик-Э» над г. Новосибирском и его окрестностями. Для измерения использовались пиранометры М-115М, которые периодически поверялись в бюро поверки Западно-Сибирского управления Росгидромета. Один пиранометр устанавливался на верхней части фюзеляжа самолета и принимал суммарную из полусферы нисходящую солнечную радиацию  $Q_{\downarrow}$ . Второй крепился на нижней части фюзеляжа и фиксировал восходящую (отраженную) радиацию из нижней полусферы  $Q_{\uparrow}$ . В связи с тем что пиранометры имеют защиту в виде стеклянного колпака, то ими фиксируется радиация в спектральном диапазоне 0,4–2,3 мкм. Величина альbedo находилась как отношение потока отраженной данной поверхностью радиации к потоку падающей радиации:

$$A = Q_{\uparrow} / Q_{\downarrow}$$

Ежемесячные полеты начались в 1997 г. С 1998 г. осуществляются измерения  $Q_{\uparrow}$  и  $Q_{\downarrow}$ . Они продолжают по настоящее время. Из схемы маршрутов (рис. 1) видно, что самолет после взлета из аэропорта «Северный» проходит над территорией города, а затем уходит в район работ. Возвращение происходит по другой траектории. Таким образом, в каждом полете имеются данные о  $Q_{\uparrow}$  и  $Q_{\downarrow}$ , измеренные над г. Новосибирском и его окрестностями. Максимальное количество данных могло быть 75. Однако некоторые полеты осуществлялись в облачных условиях. Были сбои и в работе оборудования. Поэтому для обработки отобраны 42 эпизода.

### Результаты измерений

Данные о среднегодовых величинах альбедо для городской территории и пригородных районов приведены в табл. 1.

Город	Пригород	$A_{\text{приг}}/A_{\text{гор}}, \%$
0,256	0,356	33

Из табл. 1 следует, что среднее значение альбедо для территории г. Новосибирска составляет 0,256, для пригорода – 0,356. Отражательные свойства окрестностей Новосибирска выше на 33% по сравнению с городской площадью. Это немного больше, чем получено в других экспериментах [4].

Как изменяется альбедо городской территории и окрестностей г. Новосибирска, показано на рис. 2.

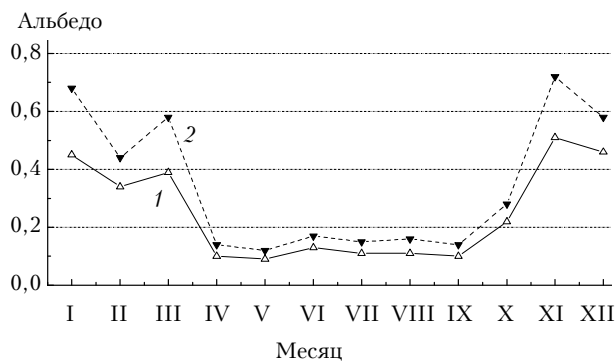


Рис. 2. Сезонный ход альбедо территории г. Новосибирска и его окрестностей: 1 – город; 2 – пригород

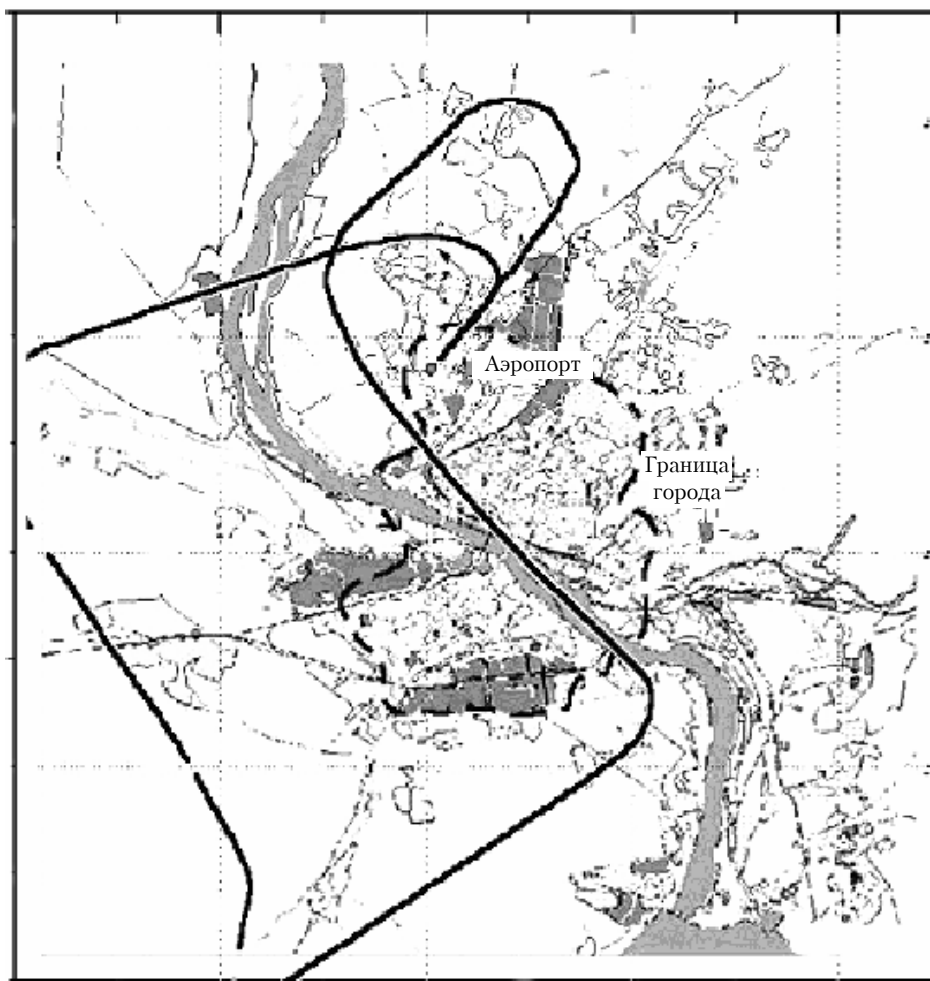


Рис. 1. Схема полетов самолета-лаборатории над г. Новосибирском и его окрестностями

#### Различия альбедо подстилающей поверхности г. Новосибирска и его окрестностей

Видно, что в течение всего года альbedo окрестностей выше альbedo городской территории. В зимнее время отражательная способность обеих поверхностей значительно выше. С ноября по март его величина превышает среднегодовые значения, достигая для пригородных районов 70%. В этот же период возрастает и абсолютная разность между городом и пригородом. Очевидно, что это обусловлено установлением устойчивого снежного покрова. Известно, что альbedo свежевыпавшего снега может превышать 90% [1].

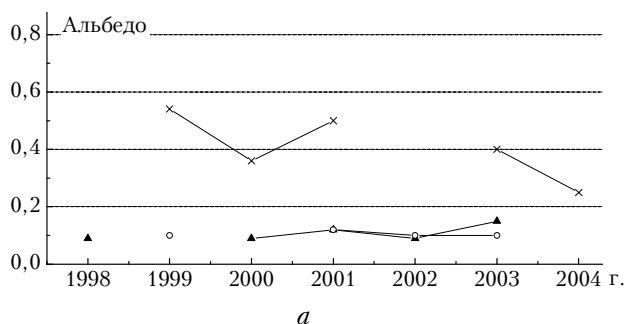
Обращает на себя внимание уменьшение альbedo обеих территорий в феврале, хотя статистика измерений для января, февраля и марта одинакова. Вероятно, что февральские измерения проводились после длительных перерывов в снегопадах, когда поверхность могла под воздействием выбросов из города потемнеть.

На рис. 3 показан сезонный ход отношения альbedo пригородных районов и городских, найденных как разность к их среднему значению:

$$\delta A = (A_{\text{приг}} - A_{\text{гор}}) / (A_{\text{приг}} + A_{\text{гор}}) / 2.$$

Из рис. 3 следует, что отношение разности к среднему значению может изменяться от 25 до 60%. Причем наибольшие изменения фиксируются тогда (июль), когда альbedo обеих поверхностей минимальны (см. рис. 2).

Погодные условия различаются не только внутри года, но имеют еще и межгодовую изменчивость. На рис. 4 приведены изменения альbedo для города



и пригорода за период с 1998 по 2004 г. Видно, что в бесснежный период вариации абсолютных значений невелики как в городе, так и в пригороде. Они составляют соответственно 0,08–0,14 и 0,10–0,24. В зимний период амплитуда колебаний альbedo значительно возрастает: в городе от 0,25 до 0,55, в пригороде от 0,32 до 0,84. Отметим, что эти данные относятся не к средним значениям. Они характеризуют условия отдельного эксперимента.

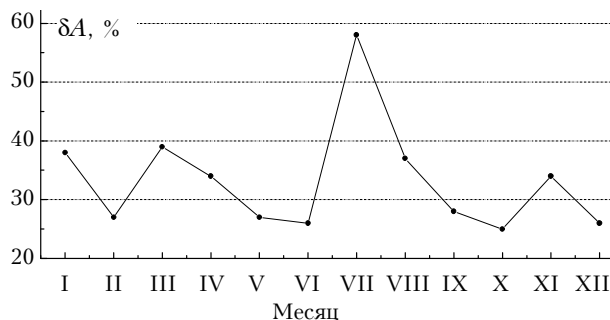


Рис. 3. Сезонный ход отношения разности альbedo пригорода и города к их среднему значению

В заключение приведем данные об абсолютной разнице в приходе солнечной радиации на единицу поверхности в городе Новосибирске и его пригороде. Из табл. 2 видно, что она колеблется от 23,8 до 137,8 Вт/м<sup>2</sup> и не имеет четкого годового хода. Можно выделить 3 максимума — в марте, июле и ноябре. Два минимума: май, сентябрь–октябрь. С чем связана такая пестрота, пока неясно.

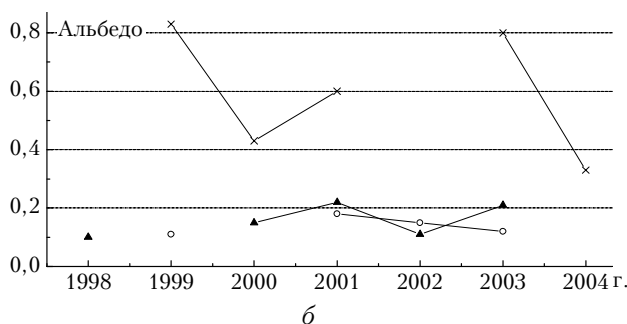


Рис. 4. Изменения альbedo за период с 1998 по 2004 г.: а — г. Новосибирск, б — пригород г. Новосибирска (—x— январь, —▲— апрель, —○— сентябрь)

Таблица 2

Максимально возможный приход солнечной радиации в город и пригород с учетом альbedo, их разница, Вт/м<sup>2</sup>

Излучение	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
$Q_{\text{гор}}$	168,5	324,2	444,7	849,5	995,9	995,9
$Q_{\text{приг}}$	103,1	274,3	306,9	811,8	965,8	949,9
$\Delta Q$	65,4	49,9	137,8	37,7	30,1	46,0
	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
$Q_{\text{гор}}$	1028	888,8	712,1	437,5	174,3	105,8
$Q_{\text{приг}}$	950,7	850,3	686,3	413,7	99,6	67,4
$\Delta Q$	77,6	38,5	25,8	23,8	74,7	38,4

Работа выполнена по междисциплинарному проекту СО РАН № 130 «Экология промышленных городов Сибири».

1. *Матвеев Л.Т.* Физика атмосферы. СПб.: Гидрометеониздат, 2000. 780 с.

2. *Безуглая Э.Ю.* Метеорологический потенциал и климатические особенности загрязнения воздуха городов. Л.: Гидрометеониздат, 1980. 184 с.

3. *Малахов В.М., Сенич В.Н.* Тепловое загрязнение окружающей среды промышленными предприятиями. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 1997. 68 с.

4. *Ландсберг Г.Е.* Климат города. Л.: Гидрометеониздат, 1983. 248 с.

*B.D. Belan, T.K. Sklyadneva, N.V. Uzhegova.* **Differences in surface albedo in the city of Novosibirsk and its outskirts.**

The airborne pyranometer measurements of the surface albedo over the city of Novosibirsk and its outskirts are reported. It is shown that the annual mean albedo is 0.256 for Novosibirsk and 0.356 for its outskirts. The differences between neighboring territories can achieve 33%. The differences remain in the seasonal behavior as well, but their amplitude changes. In the winter period, the albedo in the outskirts can be as high as 0.84. In summer, the albedo of the urban territory decreases down to 0.08. Such a behavior of the surface reflectance causes the additional influx of the solar energy ranging from 23.8 to 147.8 W/m<sup>2</sup> to the urban territory.