

Б.Д. Белан, Т.К. Складнева

## Альbedo некоторых типов подстилающей поверхности Западной Сибири

*Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск*

Поступила в редакцию 9.06.2005 г.

Приводятся данные измерений альbedo подстилающей поверхности пиранометрами, установленными на самолете-лаборатории, в районе Новосибирска и его окрестностей. Показано, что альbedo лесного массива в зимний период изменяется от 6 до 30%, а в летний период составляет в среднем 8%. Межгодовые вариации абсолютных значений лесного массива в весенне-летний период составляют 5–11%, а зимой от 10 до 30%. В сезонном ходе альbedo Обского водохранилища максимум наблюдается в январе, а минимум — летом (6–8%).

### Введение

Альbedo подстилающей поверхности является одним из факторов, определяющих радиационный режим системы «подстилающая поверхность — атмосфера» и оказывающих влияние на развитие процессов формирования общей циркуляции и климата. В настоящее время зафиксированы долгосрочные его тренды, что может сказаться на глобальном изменении климата. Так, например, по многолетним данным на 27 актинометрических станциях России для альbedo выявлены положительные тренды в летний период и отрицательные — в зимнее время года [1]. В [2] обнаружены заметные отличия альbedo между периодами 1930–1960 и 1961–1990 гг.

Величина альbedo определяется либо путем прямых измерений, либо рассчитывается из данных измерений. Наземные наблюдения позволяют оценить эту характеристику лишь для небольших участков подстилающей поверхности и не всегда это соответствует территориям значительной протяженности. Для определения альbedo больших территорий используются наблюдения, произведенные с самолета или со спутника [3–5].

Первые самолетные измерения альbedo в бывшем СССР были выполнены В.Л. Гаевским [6] и Л.И. Зубенок [7] в 50-е гг. В 60-х гг. число самолетных измерений альbedo значительно увеличилось как в СССР, так и за рубежом. Продолжаются они и в настоящее время, правда в основном за рубежом. Достаточно подробный их анализ можно найти в [8–10]. Как правило, эти измерения проводились в летнее время. В зимний период таких измерений было проведено значительно меньше. Поэтому по самолетным данным трудно характеризовать сезонные колебания альbedo. Над Западной Сибирью самолетных измерений альbedo нами

в литературе не обнаружено. В данной работе делается попытка восполнить этот пробел.

### Методика полетов и первичной обработки данных

С 1997 г. в ИОА СО РАН осуществляются регулярные полеты самолета-лаборатории Ан-30 «Оптик-Э». Полеты проводятся ежемесячно в районе Новосибирска и на юге Новосибирской области. В рамках комплексного зондирования параметров атмосферы с борта самолета с помощью двух пиранометров М-115М измеряются нисходящие ( $Q_{\downarrow}$ ) и восходящие ( $Q_{\uparrow}$ ) потоки суммарной солнечной радиации в спектральном диапазоне 0,4–2,3 мкм. Один из пиранометров установлен на верхней части, а другой закреплен на нижней части фюзеляжа самолета. Пиранометры периодически поверяются в бюро поверки Западно-Сибирского управления Росгидромета. Величина альbedo находится как

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

Полет осуществляется по следующей схеме. Взлет из аэропорта «Северный». Далее маршрут полета пролегает над территорией Новосибирска, его окрестностями, над Обским водохранилищем в район работ на правом берегу южной части Обского водохранилища (рис. 1).

В районе измерений происходит плавный набор высоты до 7 000 м с последующим спуском до минимальной высоты 500 м с промежуточными измерениями на горизонтальных «площадках». Измерения на каждой площадке ведутся в течение 12 мин при двух взаимно противоположных курсах. Горизонтальные «площадки» соответствуют высотам 7 000, 5 500, 4 000, 3 000, 2 000, 1 500 и 500 м. Затем происходит набор высоты до 3 000 м и возвращение в аэропорт г. Новосибирска.

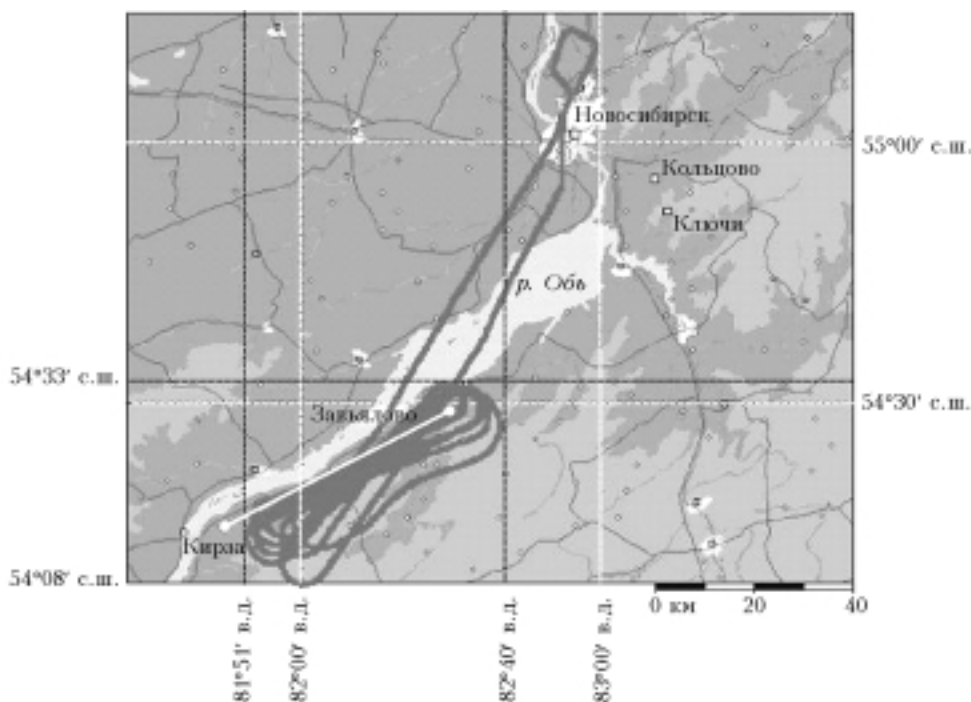


Рис. 1. Маршрут полета

Для обработки данных было отобрано 58 полетов, выполненных при благоприятных погодных условиях. Во время полетов сбоев в работе аппаратуры не было. Поскольку самолет в полете испытывал пространственные колебания как вдоль продольной оси (тангаж), так и вдоль поперечной (крен), то это отражалось и в показаниях пиранометров. Как справедливо отмечено в [10], такие отсчеты надо исправлять. В нашем случае регистрация сигналов производилась с частотой 1 Гц. Параллельно с данными пиранометров записывались и сигналы о пространственном положении самолета, снимаемые с датчиков углов крена и тангажа. В ходе первичной обработки данные с пиранометров, полученные при крене  $> 5^\circ$  и тангажа  $> 2^\circ$ , отбрасывались. Такие величины заданы исходя из значений двойной погрешности применяемых датчиков. Затем отфильтрованные данные осреднялись над однородными участками поверхности.

Ниже приводятся результаты, полученные с высоты 500 м, минимально разрешенной для района полетов. Понятно, что кроме отраженного поверх-

ностью сигнала нижний пиранометр будет фиксировать некоторую добавку, обусловленную рассеянием излучения слоем нижней полусферы. Оценка вклада рассеяния того или иного слоя будет посвящена наша следующая статья. Здесь же, солидарно с результатами [2, 10], будем считать, что ошибка измерений альбеда не превышает 5%, так как нами применялись подобные методики зондирования, а применяемые пиранометры близки по техническим характеристикам к [2]. В эту величину, по данным [2, 11–13], должен входить и вклад рассеяния нижележащих слоев воздуха.

## Результаты измерения

В районе работ измерения проводились над лесным массивом, на 90% состоящим из деревьев хвойных пород. Регулярность и однотипная схема полетов позволили построить сезонный ход альбеда большого лесного массива. В таблице приведены результаты самолетных измерений альбеда лесного массива с высоты около 500 м.

Альбеда лесного хвойного массива  $A$  (%), измеренное с самолета

Год	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2004	5,8	6,1	11,9	3,1	—	7,7	4,5	5,2	7,2	3,3	—	7,1
2003	8,0	10,2	17,1	5,1	8,9	8,4	—	9,1	4,7	—	—	5,9
2002	—	15,8	29,5	8,8	9	—	8,7	6,7	9,0	7,8	11,4	—
2001	20,7	16,6	21,1	11,2	10,2	8,5	7,8	9,6	9,5	16,8	—	29,3
2000	4,3	9,1	10,4	7,7	—	7,8	9,3	11,5	—	24,1	18,4	30,8
1999	10,8	19,0	10,6	7,2	8,8	—	6,6	—	6,4	9,2	—	—
<i>Среднее</i>	9,9	12,8	16,7	7,2	9,2	8,1	7,4	8,4	7,4	12,2	14,9	18,3

Из таблицы видно, что альbedo лесного массива в зимний период в зависимости от степени покрытия его снегом и состояния снежного покрова изменяется в широких пределах (6–30%). При устойчивом снежном покрове среднее значение альbedo хвойного массива составило 30%, при неустойчивом снежном покрове его значения колебались от 10 до 20%. Причем осенью и в начале зимы, когда снег, покрывающий кроны деревьев, более чистый и сухой, среднее значение альbedo несколько выше, чем в весенний период. Летом диапазон изменения альbedo лесного массива не так широк (от 6 до 11%).

Мы сравнили полученные результаты с данными В.Л. Гаевского. По данным [14] альbedo хвойного леса на фоне свежеснеженного снега в марте составляет 35–40% при высоте Солнца ( $h$ ) 19–23°, а альbedo смешанного леса (лиственные и хвойные деревья) в июне изменяется в диапазоне 14–17% при  $h = 39 \div 55^\circ$ . Измеренное нами альbedo лесного массива на фоне свежеснеженного снега в марте 2002 г. составило 30% при  $h = 15^\circ$ , а в июне альbedo практически не менялось за весь период наблюдения и равнялось 8–9% при  $h = 44 \div 49^\circ$ . Различия в результатах измерения альbedo скорее всего связаны с разным видовым составом и плотностью лесного участка.

Полученный массив данных позволяет проанализировать межгодовую изменчивость альbedo лесного массива. На рис. 2 приведено его изменение за период 1999–2004 г. для разных сезонов года.

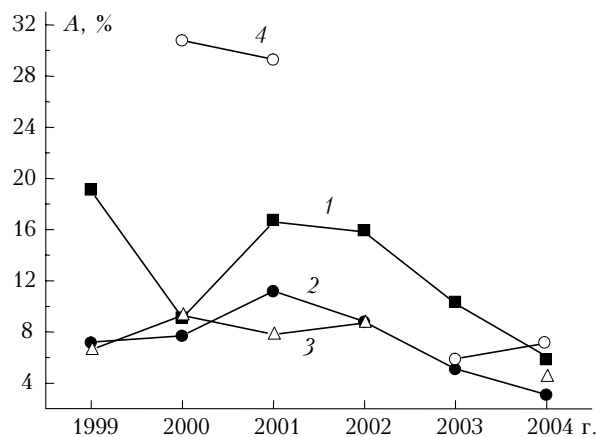


Рис. 2. Изменение альbedo лесного массива за период с 1999 по 2004 г.: 1 – январь; 2 – апрель; 3 – июль; 4 – декабрь

Из рис. 2 видно, что в весенне-летний период вариации абсолютных значений составляют 5–11%, а в зимний период амплитуда колебаний альbedo значительно возрастает (от 10 до 30%).

Как отмечалось выше, маршрут полета пролегал над окрестностями Новосибирска и Обским водохранилищем. На рис. 3 показан сезонный ход альbedo для разных подстилающих поверхностей: Обского водохранилища, сельскохозяйственных полей в окрестности Новосибирска и лесного массива. Из рис. 3 видно, что максимальное альbedo Обско-

го водохранилища наблюдалось в январе (57%), минимальное летом (6–8%). В марте, когда водохранилище покрыто серым, пористым снегом, альbedo равно 45%, что согласуется с данными [9].

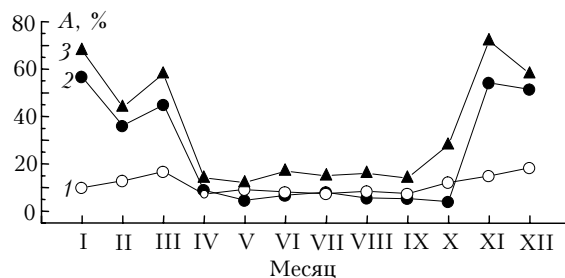


Рис. 3. Сезонный ход альbedo подстилающей поверхности: 1 – лесной массив; 2 – Обское водохранилище; 3 – сельскохозяйственные поля

Диапазон изменения альbedo сельскохозяйственных полей, свободных от снега, незначительный (14–20%). В период неустойчивого снежного покрова альbedo возрастает от 20 до 70%. Этот результат совпадает с результатами измерения альbedo полей, засеянных разными сельскохозяйственными культурами, полученными для летнего периода [15].

## Выводы

1. Величина альbedo лесного массива, на 90% состоящего из деревьев хвойных пород, колеблется в зимний период в пределах от 6 до 30% в зависимости от степени покрытия снегом и состояния снежного покрова. В летний период альbedo леса составляет в среднем 8%.

2. Межгодовые вариации абсолютных значений альbedo лесного массива составляют 5–11% в весенне-летний период и от 10 до 30% зимой.

3. В сезонном ходе альbedo Обского водохранилища максимум наблюдается в январе, а минимум летом (6–8%).

4. Диапазон изменения альbedo сельскохозяйственных полей, свободных от снега, незначительный (14–20%), а при устойчивом снежном покрове достигает 70%.

Работа выполнена по Программе СО РАН 24.3.3, при поддержке Междисциплинарного проекта СО РАН № 130, Программы Президиума РАН № 13.2, грантов РФФИ № 04-05-64559 и 04-05-08010.

1. Покровский О.М., Махоткина Е.Л., Покровский И.О., Рябова Л.М. Тенденции межгодовых колебаний составляющих радиационного баланса и альbedo поверхности суши на территории России // Метеорол. и гидрол. 2004. № 5. С. 37–48.
2. Ben-Gai T., Bitan A., Manes A., Alpert P., Israeli A. Aircraft measurements of surface albedo in relation to climatic changes in southern Israel // Theor. Appl. Climatol. 1998. V. 61. N 3–4. P. 207–215.
3. Xiwai Yin. The albedo of vegetated land surfaces: systems analysis and mathematical modeling // Theor. Appl. Climatol. 1998. V. 60. P. 121–140.
4. Wenbo Sun, Norman G. Loeb, Seiji Kato. Estimation of instantaneous TOA albedo at 670 nm over ice clouds

- from POLDER multidirectional measurements // J. Geophys. Res. D. 2004. V. 109. D02210.
5. *Kaicun Wang, Jingmiao Liu, Xiuji Zhou, Michael Sparrow, Min Ma.* Validation of the MODIS global land surface albedo product using ground measurements in a semidesert region on the Tibetan Plateau // J. Geophys. Res. D. 2004. V. 109. D05107.
  6. *Гаевский В.Л.* К вопросу о роли альbedo в формировании радиационного режима поверхности // Тр. ГГО. 1953. Вып. 39. С. 150–163.
  7. *Зубенко Л.И., Ефимова Н.А., Мухенберг В.В.* Материалы к климатическому районированию СССР // Тр. ГГО. 1958. Вып. 76. С. 98–112.
  8. *Кондратьев К.Я.* Радиационные характеристики атмосферы и земной поверхности. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 682 с.
  9. *Кондратьев К.Я., Поздняков Д.В., Исаков В.Ю.* Радиационно-гидрооптические эксперименты на озерах. Л.: Наука, 1990. 114 с.
  10. *Васильев А.В., Мельникова И.Н.* Коротковолновое излучение в атмосфере Земли. Расчеты. Измерения. Интерпретация. СПб.: НИИХ СПбГУ, 2002. 388 с.
  11. *Kuhn P.M., Snomi V.E.* Airborne observations of albedo with a beam reflector // J. Meteorol. 1958. V. 15. N 2. P. 172–174.
  12. *Davies I.A.* Albedo investigation in Labrator-Ungava. // Arch. Met. Geophys. und Bioklim. 1963. Bd 13. N 1. S. 376–384.
  13. *Liang S., Stroeve J., Box J.E.* Mapping daily snow/ice shortwave broadband albedo from MODIS: The improved direct retrieval algorithm and validation with Greenland in situ measurement // J. Geophys. Res. D. 2005. V. 110. D10109, doi:10.1029/2004JD005493.
  14. *Гаевский В.Л.* Альbedo больших территорий // Тр. ГГО. 1961. Вып. 109.
  15. *Song J.* Phenological influences on the albedo of prairie grassland and crop fields // Int. J. Biometeorol. 1999. V. 42. N 3. P. 153–157.

*B.D. Belan, T.K. Sklyadneva.* **Albedo of some types of the surface in Western Siberia.**

The data of albedo measurements by airborne pyranometers in Novosibirsk and its outskirts are presented. It is shown that in winter the albedo of a forest varies from 6 to 30%, while in summer it averages 8%. The interannual variations of the forest albedo are 5–11% in spring-summer and 10–30% in winter. In the seasonal behavior of the albedo of the Ob Reservoir, the maximum was observed in January, while the minimum took place in summer (6–8%).