

УДК 556.12 + 528.8

**О ПРИМЕНЕНИИ ИНФРАКРАСНЫХ КАНАЛОВ РАДИОМЕТРА
NOAA/AVHRR ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАТЫ
НАЧАЛА СНЕГОТАЯНИЯ**

А.М. Кауазов

В статье рассмотрена возможность определения даты начала снеготаяния на основе радиояркостной температуры снежного покрова. Определено пороговое значение радиояркостной температуры, при которой начинается таяние снежного покрова.

Снежный покров как аккумулятор зимних осадков – основной источник формирования весеннего паводкового стока и аккумуляции продуктивной почвенной влаги в зерносеющей зоне Северного Казахстана. Поэтому представляет большой интерес исследование максимальных снегозапасов. Для определения снегозапасов применяются методы, основанные на расчете характеристик теплового и водного баланса. Но эти методы предполагают наличие характеристик радиационного баланса земной поверхности, сеть регулярных измерений которых крайне редка. Из-за недостатка необходимых данных в качестве индекса теплового баланса используют температуру воздуха. При этом показатели радиационного баланса и теплообмена с атмосферой не расчленяются.

Для расчета водного эквивалента слоя стаявшего снега в этих исследованиях используется простое соотношение:

$$m = b \sum T_+, \quad (1)$$

где m – водный эквивалент слоя стаявшего снега за данный промежуток времени, мм; b – коэффициент стаивания снега, мм/°С; $\sum T_+$ – сумма положительных температур воздуха за данный промежуток времени, °С.

Для расчета температурного коэффициента стаивания используется сумма положительных температур воздуха (максимальная за сутки или в сроки, близкие к полудню), накопленная за период с момента начала снеготаяния до его схода. Дату схода снежного покрова можно определить по данным дистанционного зондирования (ДДЗ) из космоса. Дату начала снеготаяния (водоотдачи) определяют различными методами, в т.ч. и по со-

вмещенным графикам температуры воздуха, высоты и водности снежного покрова. Для определения начала снеготаяния на большой территории целесообразно применять ДДЗ, особенно в инфракрасном (ИК) диапазоне поскольку фазовое состояние снежного покрова прямо зависит от температуры [2, 4]. Исследования снежного покрова в Казахстане с применением ИК каналов не нова [6], тем не менее, представляется интересным исследование снежного покрова на основе современных спутниковых данных.

Так, снежный покров в любых условиях и при любой, даже самой низкой температуре излучает длинноволновую радиацию (поток собственного излучения снежного покрова). В то же время он непрерывно поглощает потоки длинноволновой радиации, идущие от других объектов окружающей среды.

Излучательная способность снежного покрова, по сравнению с другими природными объектами, самая высокая, несмотря на некоторое её снижение по мере старения снега [1]. Снежный покров является, таким образом, самым совершенным природным излучателем и поглотителем длинноволновой радиации и самым совершенным отражателем прямой и рассеянной солнечной радиации.

Спектральный коэффициент отражения сухого снежного покрова в пределах видимой части спектра малоселективен. Для крайних участков спектра – ультрафиолетового и инфракрасного – коэффициент отражения оказывается меньше, чем для видимой части. Существенное уменьшение коэффициента отражения при переходе от сухого и чистого, к мокрому и загрязненному снегу, происходит почти на одинаковую величину для всех длин волн. Поэтому избирательность отражения для мокрого и засоренного снега остается в пределах видимой части спектра, как и для сухого и чистого снега [5].

Задачей данной работы является определение порогового значения радиояркостной температуры, при которой начинается снеготаяние. Для решения этой задачи использованы 4 (10,3...11,3 мкм) и 5 (11,5...12,5 мкм) каналы радиометра NOAA/AVHRR. Методы восстановления температуры подстилающей поверхности по данным дистанционного зондирования Земли основаны на выделении из общего регистрируемого сигнала той его части, которая соответствует излучению поверхности (с учетом поглощения и излучения атмосферы). После этого на основе известной зависимости по яркости излучения определяют температуру поверхности. Такие модели достаточно хорошо отработаны для однородных поверхностей, в частности морских.

Известно, что относительно точно можно восстанавливать температуру поверхности Земли только для квазиоднородных участков (степь, пустыня, снежный покров и т.п.). В таких случаях обычно используют алгоритмы, разработанные для восстановления температуры поверхности моря. Наиболее простым является алгоритм Мак-Клейна (2), который дает достаточно хорошие результаты при восстановлении температуры различных участков поверхности суши (ошибки в пределах 3 °С), согласно которому температура подстилающей поверхности равна [3]:

$$T = -283,934 + 4,081T_{4я} - 3,046T_{5я}, \quad (2)$$

где T – температура подстилающей поверхности в °С, $T_{4я}$ и $T_{5я}$ – значения радиояркостной температуры в каналах 4 и 5 радиометра NOAA AVHRR, °К.

Однако переход от радиояркостной температуры к физической чрезвычайно сложная задача. Поэтому точное определение физической температуры не является целью данной работы, так как для определения начала таяния необходим лишь некий условный порог радиояркостной температуры, с превышением которого начинается снеготаяние. Для определения физической температуры более целесообразно применять скорректированные данные 21 канала радиометра Terra/MODIS, где значения представляются непосредственно в градусах Кельвина. Для определения порогового значения радиояркостной температуры необходимо определить дату начала снеготаяния и радиояркостную температуру снежного покрова на дату таяния. Для определения даты начала снеготаяния были использованы декадные и пентадные данные о высоте и плотности снежного покрова (h , p) и ежедневные данные о температуре воздуха (T) в срок 09 СГВ (15 часов местного времени). Обработаны данные следующих метеостанций (М) Северного Казахстана: Акколь, Аршалы, Балкашино, Егиндыколь, Жаксы, Щучинск – Акмолинская область; Аркалык, Джетыгара, Карасу, Пресногорьковка, Рудный – Костанайская область; Рузаевка, Сергеевка, Чкалово, Петропавловск – Северо-Казахстанская область за 2007 г. Для каждой метеостанции были определены снегозапасы и построены совмещенные графики высоты (h), водности снежного покрова (w) и температуры воздуха (T).

Далее, определялась дата начала таяния (водоотдачи) на основе анализа совмещенных графиков метеопараметров. За начало водоотдачи принималась дата с высоким (максимальным) снегозапасом, предшествующая дате наблюдений с существенно (на 20 % и более) уменьшившимся снегозапасом, либо дата начала периода с постепенным уменьшением

снегозапаса на фоне устойчивой положительной температурой воздуха в период между наблюдениями.

Для определения радиояростной температуры ($T_{4я}$) подстилающей поверхности было создано программное обеспечение в среде Borland Delphi. Разработанная программа позволила автоматизировано преобразовать значения интенсивности излучения четвертого канала в температуру, для всех метеостанций, из заранее подготовленных дневных снимков спутника NOAA-18, представленных в формате ASCII, время пролета которого близко к сроку 09 СВВ. Полученные данные о $T_{4я}$ подстилающей поверхности были нанесены на совмещенные графики (рис. 1). Для удобства представления информации от значений $T_{4я}$ была вычтена величина 273.

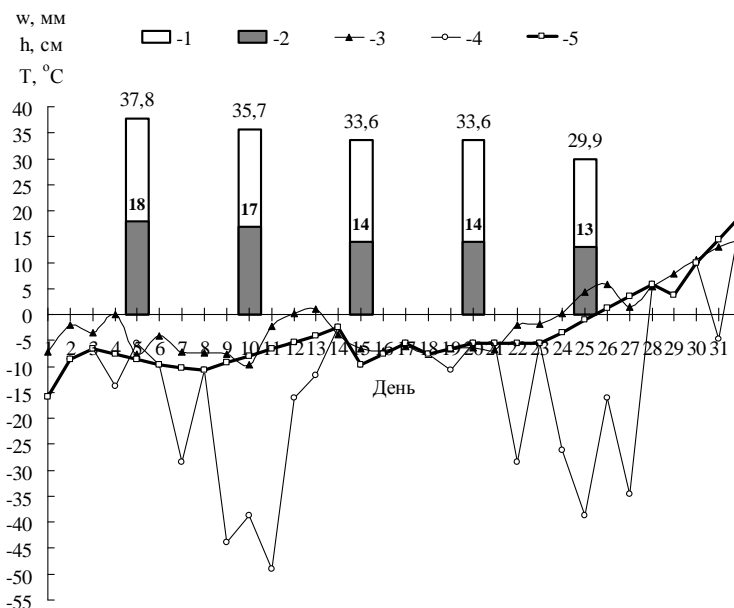


Рис. 1. Совмещенный график влагозапасов (1) и высоты (2) снежного покрова, температуры воздуха в срок 09 СВВ (3), $T_{4я}$ – (4), интерполированное значение $T_{4я}$ – (5) на М Сергеевка в марте 2007 г.

Значительные отрицательные величины $T_{4я}$ соответствуют дням с облачностью. Для таких дней значения $T_{4я}$ были исключены, и данные были интерполированы. На графике видно, что $T_{4я}$ хорошо согласуется с температурой воздуха в срок 09 СВВ. Коэффициент корреляции между температурой воздуха и температурой подстилающей поверхности (снег, почва), рассчитанный для всех метеостанций, составил 0,91.

Известно, что таяние снежного покрова (убыль влагозапасов) может происходить при самых различных метеорологических условиях. Так,

при температурах воздуха ниже нуля, убыль снеготаяния может происходить вследствие возгонки. Так же снег начинает таять при любой влажности воздуха в условиях, когда среднесуточная температура воздуха выше $9,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ [5]. В общем, можно утверждать, что снеготаяние происходит при температуре снежного покрова близкой к $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Отсюда, по кривой температуры на графике, наиболее вероятный день начала таяния снега приходится на 24 марта. Однако, суждение о факте начала снеготаяния определяется не только на основе анализа динамики температуры воздуха, но и на анализе характеристик снежного покрова. С учетом параметров снежного покрова снеготаяние приходится на 25 марта, так как фактические данные о снежном покрове имеют периодичность не менее 5 дней и ближайšie по времени данные имеются лишь на 25 марта. Соответственно точность определения даты начала снеготаяния с учетом пентадной дискретности данных о снежном покрове не высока. Тем не менее, несмотря на пятидневный интервал данных о снежном покрове, данные о дате начала снеготаяния являются вполне кондиционными. По методу теплового проявления для расчета используются суммы накопленных положительных температур воздуха за весь период снеготаяния, а в начальный период снеготаяния температуры близки к нулю и их вклад в упомянутую сумму температур по сравнению с конечным периодом не велик. Поэтому за дату начала снеготаяния можно принять ближайшую дату с данными о характеристиках снежного покрова, в данном случае – 25 марта, хотя с большой степенью вероятности снеготаяние началось 24 марта или ранее.

Для определения порогового значения радиояркостной температуры снежного покрова для начала процесса таяния, была определена максимальная $T_{дн}$ снега за период 3-ех дней до и после начала фактического снеготаяния по всем рассматриваемым метеостанциям. Дата с максимальной $T_{дн}$ снега принималась как дата начала снеготаяния по спутниковым данным. Результаты приведены в табл. 1. Здесь видно, что таяние снежного покрова отмечается при температурах в четвертом канале AVHRR от $269\text{ }^{\circ}\text{K}$ и выше.

Полученный порог был верифицирован по данным 2009 года. По метеорологическим данным этого года также были построены совмещенные графики и определена дата начала снеготаяния. Затем были определены даты, когда температура в 4-ом канале достигала $269\text{ }^{\circ}\text{K}$ и выше. Сопоставление данных показало, что погрешность в определении даты снеготаяния не превышает 3-ех дней (табл. 2). По выше упомянутым причинам, такую точность, можно принять как удовлетворительную.

Таблица 1

Даты начала снеготаяния по наземным станциям и максимальные температуры подстилающей поверхности по ДДЗ, 2007 г.

Метеостанция	Наземные данные	Спутниковые данные	
	дата начала таяния	$T_{4я}$, °К	дата начала таяния
Петропавловск	31 марта	275,0	30 марта
Пресногорьковка	20 марта	270,0	20 марта
Сергеевка	31 марта	273,0	31 марта
Чкалово	20 марта	274,0	20 марта
Щучинск	31 марта	272,0	31 марта
Рудный	20 марта	271,0	20 марта
Рузаевка	31 марта	273,0	31 марта
Карасу	31 марта	273,0	31 марта
Балкашино	31 марта	269,0	31 марта
Джетыгара	20 марта	272,0	20 марта
Акколь	31 марта	274,0	31 марта
Жаксы	31 марта	272,0	30 марта
Егиндыколь	31 марта	270,0	31 марта
Аршалы	20 марта	269,0	17 марта
Аркалык	31 марта	273,0	30 марта

Таблица 2

Даты начала снеготаяния по наземным станциям и по ДДЗ (с максимальными температурами подстилающей поверхности) в 2009 г.

Метеостанция	Наземные данные	Спутниковые данные подстилающей поверхности		
	дата начала таяния	$T_{4я}$, °К	дата с $T_{4я}$	T , °С по методу Мак-Кейна
Петропавловск	25 марта	275,0	24 марта	0,7
Пресногорьковка	25 марта	269,0	26 марта	-2,5
Сергеевка	25 марта	269,0	25 марта	-1,1
Чкалово	15 марта	270,0	14 марта	1,6
Щучинск	20 марта	270,0	20 марта	-1,4
Рудный	25 марта	270,0	25 марта	-1,5
Рузаевка	15 марта	270,0	14 марта	-1,4
Карасу	25 марта	271,0	23 марта	-3,5
Балкашино	25 марта	270,0	24 марта	-0,4
Джетыгара	25 марта	269,5	25 марта	-3,5
Акколь	20 марта	270,0	19 марта	-1,4
Жаксы	25 марта	269,0	23 марта	-2,5
Егиндыколь	25 марта	271,0	24 марта	-0,4
Аршалы	20 марта	269,5	22 марта	1,5
Аркалык	20 марта	269,0	21 марта	-2,5

На основе полученных результатов, были определены области с тающим снежным покровом. На рис. 2 приведен космический снимок с тающим снежным покровом на 21 марта 2009 г., построенный по температурному порогу. В целом наземные области тающего снежного покрова

хорошо согласуются с ДДЗ. 21 марта таяние наблюдалось в окрестностях М Чкалово, М Щучинск, М Рузаевка, М Акколь, М Аршалы, М Аркалык, как по наземным данным, так и по ДДЗ. Кроме указанных станций по ДДЗ таяние снежного покрова отмечалось так же в окрестностях М Джетыгара, М Петропавловск, М Рудный. На этих станциях, скорее всего наблюдались эпизодические случаи таяния, так как устойчивое снеготаяние на них началось лишь через 10 дней.

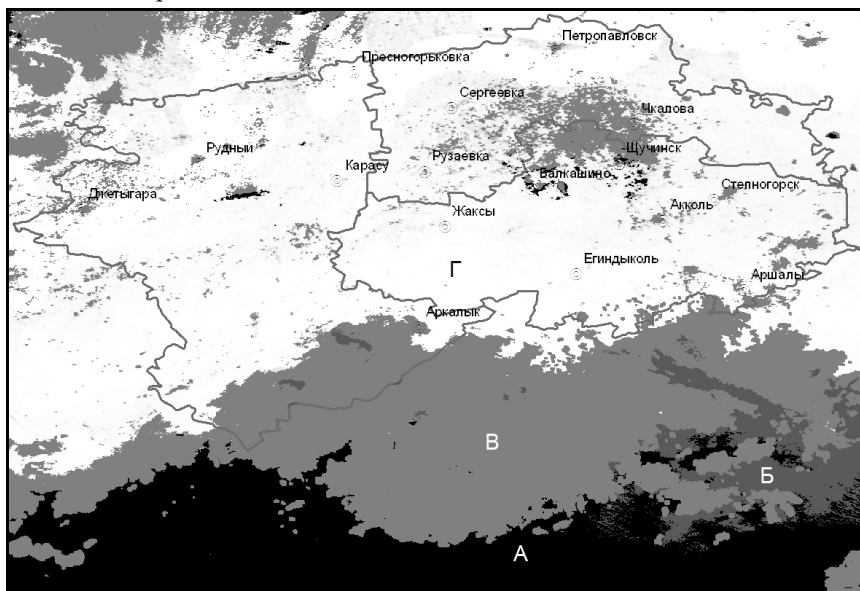


Рис. 2. Фрагмент космоснимка NOAA/AVHRR за 21 марта 2009 г. (А – бесснежная область, Б – Облачность, В – тающий снежный покров, Г – снежный покров).

Отдельные дни со снеготаянием по территории Северного Казахстана отмечались также ранее – в начале марта. Для определения точной даты начала устойчивого снеготаяния, необходимо ежедневное определение зон снеготаяния по спутниковым снимкам, а затем на их основе возможно определить дату начала устойчивого снеготаяния.

Сравнение пороговой температуры полученной по методу Мак-Кейна с радиояркостной температурой в 4 канале ($T_{4я}$) не показывает существенных различий. Таяние снега начинается соответственно с минус 4,0 °С (269 °К) и 269,5 °К. Между тем, температурные коэффициенты в методе Мак-Клейна нуждаются в уточнении применительно к снежному покрову.

Таким образом, для определения даты начала снеготаяния на значительных пространствах возможно использование порогового значения ($T_{4я} \geq 269,5$) радиояркостной температуры снежного покрова в четвертом

канале радиометра NOAA/AVHRR, как вспомогательного метода, особенно при недоступности наземных данных о температуре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богородский В.В., Козлов А.И., Тучков Л.Т. Радиотепловое излучение земных покровов. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 224 с.
2. Бордонский С.С., Крылов С.Д., Цырсижапов С.В. Пульсация радиояркой температуры ледяного покрова вблизи точки фазового перехода. // Исследование Земли из Космоса. – 2000. – № 1, – С. 24-32.
3. Закарин Э.А., Спивак Л.Ф., Архипкин О.П. Методы дистанционного зондирования в сельском хозяйстве Казахстана. – Алматы: Гылым, 1999. – 255 с.
4. Кондратьев К.Я., Власов В.П., Мелентьев В.В. Радиотепловое излучение тающего покрова как индикатора его состояния // Доклад АН СССР. – 1985. – Т. 280. – № 4. – С. 839-842.
5. Кузьмин П.П. Процессы таяния снега. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 345 с.
6. Панкратова Е.И. О возможности определения фронта снеготаяния по многозональной информации с ИСЗ «Метеор» (на примере Казахстана) // Труды ГГИ. – 1981. – Вып. 285. – С.47-56.

Институт космических исследований, г. Алматы

ҚАР ЕРУ УАҚЫТЫНЫҢ БАСТАЛУЫН АНЫҚТАУ ҮШІН NOAA/AVHRR ИК ЖЕЛІСІН ҚОЛДАНУ ТУРАЛЫ

А.М. Кауазов

Мақалада радиожарықтық температура негізінде қар еру уақытының басталуын анықтау мүмкіндігі қаралған. Радиожарықтық температураның ең аз мөлшері негізінде қар бетінің еруінің басталуы анықталған.